การเพาะเลี้ยงหญ้าใบมะกรูด *Halophila ovalis* ในห้องปฏิบัติการ

Cultivation of Spoon Grass (*Halophila ovalis*) in Laboratory

สุทธิวรรณ สุทธิ

Suttiwan Sutti

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวาริชศาสตร์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of

Master of Science in Aquatic Science

Prince of Songkla University

2552

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

การเพาะเลี้ยงหญ้าใบมะกรูด *Halophila ovalis* ในห้องปฏิบัติการ

Cultivation of Spoon Grass (*Halophila ovalis*) in Laboratory

สุทธิวรรณ สุทธิ

Suttiwan Sutti

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวาริชศาสตร์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of

Master of Science in Aquatic Science

Prince of Songkla University

2552

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การเพาะเลี้ยงหญ้าใบมะกรูด *Halophila ovalis* ในห้องปฏิบัติการ
ผู้เขียน นางสาวสุทธิวรรณ สุทธิ
สาขาวิชา วาริชศาสตร์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

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

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

…….....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จารุณี เชี่ยววารีสัจจะ)

คณะกรรมการสอบ

……..ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัญชนา ประเทพ)

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

...……..….กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จารุณี เชี่ยววารีสัจจะ)

...…….กรรมการ
(รองศาสตราจารย์พิมพรรณ ตันสกุล)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวาริชศาสตร์

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

ชื่อวิทยานิพนธ์ การเพาะเลี้ยงหญ้าใบมะกรูด *Halophila ovalis* ในห้องปฏิบัติการ
ผู้เขียน นางสาวสุทธิวรรณ สุทธิ
สาขาวิชา วาริชศาสตร์
ปีการศึกษา 2551

บทคัดย่อ

ศึกษาสภาวะแวดล้อมที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของหญ้าใบมะกรูด *Halophila ovalis* ในห้องปฏิบัติการ โดยดำเนินการทดลอง 5 การทดลองๆ ละ 3 ซ้ำ การทดลองแรกหาความเค็มที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของหญ้าใบมะกรูด โดยใช้หญ้าใบมะกรูด 20 กรัม เลี้ยงในตู้กระจกที่มีน้ำ 20 ลิตรและมีความเค็มแตกต่างกัน (15, 20, 25, 30, 35 และ 40 ส่วนในพัน) เป็นระยะเวลา 10 วัน พบว่าหญ้าใบมะกรูดเจริญเติบโตได้ดีที่สุดในน้ำที่มีความเค็ม 30 ส่วนในพัน

การทดลองที่ 2 หาแหล่งปุ๋ยไนโตรเจนและอัตราส่วนของไนโตรเจนรวม : ฟอสฟอรัสรวม ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของหญ้าใบมะกรูด โดยเลี้ยงหญ้าใบมะกรูด 20 กรัม ในน้ำ 20 ลิตร ที่มีความเค็ม 30 ส่วนในพัน และมีการกำหนดอัตราส่วนของไนโตรเจนรวม : ฟอสฟอรัสรวม (4:1, 8:1 และ 12:1) โดยใช้ปุ๋ยแอมโมเนียมคลอไรด์และปุ๋ยโพแทสเซียมไนเตรทเป็นแหล่งปุ๋ยไนโตรเจน ทดลองเลี้ยงในตู้กระจกเป็นระยะเวลา 10 วัน พบว่าหญ้าใบมะกรูดเจริญเติบโตได้ดีที่สุดเมื่อเลี้ยงในน้ำที่เติมปุ๋ยที่มีอัตราส่วนของไนโตรเจนรวม : ฟอสฟอรัสรวม เท่ากับ 12 : 1 โดยมีปุ๋ยไนเตรทเป็นแหล่งไนโตรเจน

การทดลองที่ 3 หาชนิดของดินที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของหญ้าใบมะกรูด โดยทดลองปลูกหญ้าใบมะกรูด 20 กรัม ในตู้กระจกที่มีดิน 1 กิโลกรัม และน้ำ 20 ลิตร ที่ได้จากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว (*Penaeus vannamei*) ที่มีอัตราการปล่อยกุ้งขาว 80,000, 100,000, 150,000 ตัว/ไร่ ตามลำดับ และในชุดควบคุมใช้ดินและน้ำจากแหล่งที่เก็บหญ้าทะเล ทดลองปลูกเป็นระยะเวลา 10 วัน พบว่าหญ้าใบมะกรูดที่ปลูกในชุดควบคุมเจริญเติบโตได้ดีที่สุด รองลงมาคือหญ้าใบมะกรูดที่ปลูกในดินจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่มีอัตราการปล่อย 80,000 ตัว/ไร่ แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

การทดลองที่ 4 ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวของหญ้าใบมะกรูด โดยใช้หญ้าใบมะกรูดด้วยความหนาแน่นต่างๆ (5, 10, 15 และ 20 กรัม/ลิตร) เลี้ยงในตู้กระจกที่มีน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวด้วยความหนาแน่น 80,000 ตัว/ไร่ ปริมาตร 20 ลิตร เป็นระยะเวลา 15 วัน

จากการทดลอง พบว่าหญ้าใบมะกรูดที่ความหนาแน่น 20 กรัม/ลิตร มีประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (27.38%), ไนเตรท-ไนโตรเจน (40.92%), ไนไตรท์-ไนโตรเจน (35.26%) และออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส (23.33%) ได้สูงสุดในวันที่ 5 จากนั้นประสิทธิภาพจะค่อยๆลดลงในวันถัดมา

การทดลองสุดท้าย ศึกษาอัตราการดูดซับธาตุอาหารในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวของหญ้าใบมะกรูด โดยใช้หญ้าใบมะกรูดที่ความหนาแน่น 20 กรัม/ลิตร เลี้ยงในตู้กระจกที่มีน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาว ด้วยความหนาแน่น 80,000 ตัว/ไร่ ปริมาตร 20 ลิตร ที่ความเค็ม 27 ส่วนในพัน เป็นระยะเวลา 9 วัน จากการทดลอง พบว่าหญ้าใบมะกรูดมีอัตราการดูดซับธาตุอาหารในน้ำทิ้งได้สูงสุดในวันที่ 5 และดูดซับไนเตรท-ไนโตรเจนได้ดีที่สุด (1.08 มิลลิกรัม/กรัม/วัน) ผลการศึกษานี้แสดงว่าสามารถนำหญ้าใบมะกรูดไปใช้บำบัดน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลได้ต่อไป

Thesis Title Cultivation of Spoon Grass (*Halophila ovalis*) in Laboratory

Author Miss Suttiwan Sutti

Major Program Aquatic Science

Academic Year 2008

Abstract

To study the effect of different conditions on the growth of spoon grass (*Halophila ovalis*), five experiments with three replicates were undertaken in laboratory. In the first experiment, to determine the optimal salinity for growing spoon grass, 20 g spoon grasses and 20 l water with controlled salinities (15, 20, 25, 30, 35 and 40 ppt) were put into a glass aquaria for 10 days. The results showed that the spoon grasses grown in 30 ppt seawater had the best growth performance.

In the second experiment, to determine the best source of nitrogen fertilizer and total nitrogen : total phosphorus (TN:TP) ratio for growing spoon grass, 20 g spoon grasses and 20 l seawater at a salinity of 30 ppt with designated TN:TP ratios (4:1, 8:1 and 12:1) using either ammonium chloride or potassium nitrate as a nitrogen source were put into a glass aquaria for 10 days. In this experiment, it was found that a TN:TP ratio of 12:1 using potassium nitrate as a nitrogen source gave the best growth performance of spoon grasses.

In the third experiment, to determine the optimal soil source for growing spoon grass, 20 g spoon grasses were grown in a glass aquaria for 10 days in 1 kg soil and 20 l water from ponds raising Pacific white shrimp (*Penaeus vannamei*) with stocking densities of either 80,000, 100,000 or 150,000 shrimps/rai, and a control unit containing soil and water from a natural spoon grass habitat. It was found that the spoon grass in the control unit had the best growth performance and the one grown in soil from shrimp pond with a stocking density of 80,000 shrimps/rai was the next best, not significantly different from the control ($p>0.05$).

In the fourth experiment, to study the efficiency of spoon grass for treating the effluent from a shrimp pond with a stocking density of 80,000 shrimps/rai, spoon grasses with designated densities (5, 10, 15 and 20 g/l) were grown in a glass aquaria

containing 20 l seawater for 15 days. It was found that the highest removal rate of ammonia-nitrogen (27.38%), nitrate-nitrogen (40.92%), nitrite-nitrogen (35.26%) and orthophosphate-phosphorus (23.33%) was achieved by 20 g/l spoon grass on day 5, with a gradual decrease afterwards.

In the last experiment, to study the rate of nutrient uptake of spoon grass for treating the effluent from a shrimp pond with a stocking density of 80,000 shrimps/rai, spoon grasses with a density of 20 g/l were grown in a glass aquaria containing 20 l of 27 ppt seawater for 9 days. It was found that the highest nutrient uptake rate was achieved on day 5 and nitrate-nitrogen was the most uptaken (1.08 mg/g/day) by spoon grass. The results showed that it is feasible to grow or use spoon grass for treating the effluent from marine shrimp ponds.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สมหมาย เชี่ยววารีสัจจะ อาจารย์ที่ปรึกษา และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จารุณี เชี่ยววารีสัจจะ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รวมทั้งกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วยผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัญชนา ประเทพ และรองศาสตราจารย์ พิมพรรณ ตันสกุล ที่ช่วยเหลือให้คำแนะนำและแก้ไขความบกพร่องในการทำวิทยานิพนธ์ จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่สนับสนุนทุนเพื่อทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณ ดร.มงคลชัย สมอุดร ผู้อำนวยการวิทยาลัยประมงสงขลาติณสูลานนท์ ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ทำการวิจัย ขอขอบคุณอุทยานแห่งชาติหาดเจ้าไหม จ.ตรัง ที่ให้ความอนุเคราะห์หญ้าใบมะกรูดในการวิจัย และขอขอบคุณคุณประทีป สองแก้วที่ช่วยเหลือให้คำแนะนำและให้ใช้สารเคมีและเครื่องมือต่างๆในการทำวิทยานิพนธ์ด้วยเป็นอย่างดี

นอกจากนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้ความอุปการะและเป็นกำลังใจอย่างดียิ่ง เช่นเดียวกับเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ นักศึกษาปริญญาโท เจ้าหน้าที่ภาควิชาวารีชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และผู้ที่ไม่ได้เอ่ยนามทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

สุทธิวรรณ สุทธิ

สารบาญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
Abstract	(5)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบาญ	(8)
รายการตาราง	(9)
รายการภาพ	(10)
ตัวย่อและสัญลักษณ์	(13)
บทที่	
1 บทนำ	1
บทนำต้นเรื่อง	1
การตรวจเอกสาร	2
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	15
ขอบเขตของการวิจัย	15
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	16
2 วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ	17
วัสดุและอุปกรณ์	17
วิธีการวิจัย	18
3 ผลการวิจัย	27
4 วิจารณ์ผลการทดลอง	43
5 สรุป	53
เอกสารอ้างอิง	56
ภาคผนวก	68
ประวัติผู้เขียน	96

รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
1	คุณภาพน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม ตามรายงานของสิริ และคณะ (2548) และพุทธ และคณะ (2550)	10
2	แหล่งของไนโตรเจนและความเข้มข้นของอัตราส่วนไนโตรเจนรวม : ฟอสฟอรัสรวม (TN : TP) ที่ใช้ในการศึกษาการเจริญเติบโตของหญ้าใบมะกรูด	21
3	วิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำพารามิเตอร์ต่างๆ	26

รายการภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ลักษณะของหญ้าใบมะกรูด (*Halophila ovalis*)	3
2	แหล่งหญ้าทะเลทั่วโลก 6 แหล่ง	4
3	วัฏจักรของไนโตรเจนในแหล่งน้ำ	11
4	วัฏจักรของฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำ	13
5	การเตรียมหญ้าใบมะกรูดก่อนเริ่มทำการทดลอง	19
6	การเตรียมสภาพการทดลอง	19
7	การเจริญเติบโตของหญ้าใบมะกรูดที่เลี้ยงในน้ำที่มีความเค็ม 15, 20, 25, 30, 35 และ 40 ส่วนในพัน เป็นระยะเวลา 10 วัน (ค่าเฉลี่ย $\pm$ ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)	28
8	ปริมาณไนโตรเจนรวมและฟอสฟอรัสรวมในน้ำที่มีความเค็ม 15, 20, 25, 30, 35 และ 40 ส่วนในพัน ซึ่งใช้เลี้ยงหญ้าใบมะกรูด เป็นระยะเวลา 10 วัน (ค่าเฉลี่ย $\pm$ ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)	29
9	น้ำหนักสดของหญ้าใบมะกรูดที่เลี้ยงในน้ำทะเลซึ่งมีอัตราส่วนของไนโตรเจนรวม: ฟอสฟอรัสรวม 3 ระดับ และแหล่งไนโตรเจน 2 แหล่ง เทียบกับน้ำทะเล เป็นระยะเวลา 10 วัน (ค่าเฉลี่ย $\pm$ ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)	30
10	จำนวนใบของหญ้าใบมะกรูดที่เลี้ยงในน้ำทะเลซึ่งมีอัตราส่วนของไนโตรเจนรวม: ฟอสฟอรัสรวม 3 ระดับ และแหล่งไนโตรเจน 2 แหล่ง เทียบกับน้ำทะเล เป็นระยะเวลา 10 วัน (ค่าเฉลี่ย $\pm$ ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)	31
11	องค์ประกอบของดินจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่มีอัตราการปล่อยกุ้งขาว 80,000, 100,000, 150,000 ตัว/ไร่ และดินจากแหล่งที่เก็บหญ้าใบมะกรูดก่อนการทดลองและเมื่อเวลาผ่านไป 10 วัน (ค่าเฉลี่ย $\pm$ ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)	32
12	ปริมาณอินทรีย์สารในตะกอนดินจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่มีอัตราการปล่อยกุ้งขาว 80,000, 100,000, 150,000 ตัว/ไร่ และดินจากแหล่งที่เก็บหญ้าใบมะกรูด ก่อนการทดลอง และเมื่อเวลาผ่านไป 10 วัน (ค่าเฉลี่ย $\pm$ ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)	32

รายการภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
13	การเจริญเติบโตของหญ้าใบมะกรูดที่ปลูกในดินจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่มีอัตราการปล่อยกุ้งขาว 80,000, 100,000, 150,000 ตัว/ไร่ และดินจากแหล่งที่เก็บหญ้าใบมะกรูดก่อนการทดลองและเมื่อเวลาผ่านไป 10 วัน (ค่าเฉลี่ย ± ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)	33
14	คุณภาพน้ำจากแหล่งเก็บหญ้าทะเลและน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่มีอัตราการปล่อยกุ้งขาว 80,000, 100,000 และ 150,000 ตัว/ไร่ ซึ่งตรวจวัดก่อนใช้เลี้ยงหญ้าใบมะกรูด (ค่าเฉลี่ย ± ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)	34
15	เส้นแนวโน้มน้ำหนักสดและจำนวนใบที่เปลี่ยนแปลงไปของหญ้าใบมะกรูดที่เลี้ยงในน้ำจากแหล่งเก็บหญ้าทะเลและน้ำจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว	35
16	ปริมาณสารแขวนลอยในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวที่ใช้เลี้ยงหญ้าใบมะกรูดด้วยความหนาแน่น 5, 10, 15 และ 20 กรัม/ลิตร เป็นเวลา 15 วัน (ค่าเฉลี่ย ± ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)	36
17	ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวที่ใช้เลี้ยงหญ้าใบมะกรูดด้วยความหนาแน่น 5, 10, 15 และ 20 กรัม/ลิตร เป็นเวลา 15 วัน (ค่าเฉลี่ย ± ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)	37
18	ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวที่ใช้เลี้ยงหญ้าใบมะกรูดด้วยความหนาแน่น 5, 10, 15 และ 20 กรัม/ลิตร เป็นเวลา 15 วัน (ค่าเฉลี่ย ± ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)	38
19	ประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรท-ไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวที่ใช้เลี้ยงหญ้าใบมะกรูดด้วยความหนาแน่น 5, 10, 15 และ 20 กรัม/ลิตร เป็นเวลา 15 วัน (ค่าเฉลี่ย ± ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)	39
20	ประสิทธิภาพการบำบัดไนไตรท์-ไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวที่ใช้เลี้ยงหญ้าใบมะกรูดด้วยความหนาแน่น 5, 10, 15 และ 20 กรัม/ลิตร เป็นเวลา 15 วัน (ค่าเฉลี่ย ± ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)	40

รายการภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
21	ประสิทธิภาพการบำบัดออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวที่ใช้เลี้ยงหญ้าใบมะกรูดด้วยความหนาแน่น 5, 10, 15 และ 20 กรัม/ลิตร เป็นเวลา 15 วัน (ค่าเฉลี่ย ± ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)	41
22	อัตราการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจน, ไนเตรท-ไนโตรเจน และออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวโดยใช้หญ้าใบมะกรูดที่ความหนาแน่น 20 กรัม/ลิตร ในระยะเวลา 9 วัน (ค่าเฉลี่ย ± ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)	42

ตัวย่อและสัญลักษณ์

มก.	=	มิลลิกรัม
ก.	=	กรัม
กก.	=	กิโลกรัม
มล.	=	มิลลิลิตร
ล.	=	ลิตร
µmol	=	ไมโครโมล
m^2	=	ตารางเมตร
sec.	=	วินาที
Conc.	=	ความเข้มข้น
Ø	=	เส้นผ่านศูนย์กลาง
SD	=	ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน
GF/C	=	Glass Fiber Filter : Class C

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำต้นเรื่อง

หญ้าทะเล (Seagrass) เป็นพืชมีดอกชั้นสูงที่สามารถปรับตัวให้ดำรงชีวิตอยู่ในน้ำ หรือแนวน้ำขึ้นน้ำลงได้ โดยโครงสร้างของหญ้าทะเลเปลี่ยนแปลงไปเพื่อให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมบริเวณชายฝั่งทะเล (den Hartog, 1970; Thayer, 1984) หญ้าทะเลแพร่กระจายโดยการเจริญของเหง้าที่ยาวขึ้นและการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ นอกจากนี้ยังสามารถใช้รากดูดซับธาตุอาหารได้ทั้งในตะกอนดินและในน้ำทะเลซึ่งเป็นลักษณะพิเศษที่ทำให้หญ้าทะเลมีการแพร่กระจายได้ทั่วโลก (Hemminga and Duarte, 2000) หญ้าทะเลแบ่งออกเป็น 5 ตระกลู (Hydrocharitaceae, Cymodoceaceae, Posidoniaceae, Zosteraceae และ Ruppiaceae) 12 สกุล 60 ชนิด (Short *et al*., 2007) ส่วนในประเทศไทยนั้น พบหญ้าทะเล 7 สกุล 12 ชนิด (กาญจนภาชน์ และคณะ, 2534) กระจายอยู่ทั่วไปทั้งทางชายฝั่งทะเลอ่าวไทยและชายฝั่งทะเลอันดามัน แหล่งหญ้าทะเลมีความสำคัญต่อระบบนิเวศทางทะเลอย่างมากเพราะเป็นแหล่งอาหารสัตว์น้ำโดยตรง เช่น ปลากินพืช เต่าทะเล และพะยูน เป็นต้น นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งอาศัยหลบภัย แหล่งผสมพันธุ์วางไข่ และเป็นแหล่งอนุบาลสัตว์น้ำวัยอ่อน เนื่องจากเป็นบริเวณที่อุดมสมบูรณ์และปลอดภัย (สมบัติ, 2535) และยังช่วยลดความรุนแรงของคลื่นทำให้การพังทลายของชายฝั่งลดลง ช่วยในการตกตะกอนของอินทรียวัตถุ ตะกอนดินในน้ำ และทำให้เกิดการหมุนเวียนของแร่ธาตุต่างๆ (กรมป่าไม้, 2537)

ปัจจุบันแหล่งหญ้าทะเลถูกทำลายไปมาก ไม่ว่าจะเกิดจากการเปลี่ยนแปลงโดยธรรมชาติหรือจากการกระทำของมนุษย์ ในหลายประเทศมีการตื่นตัวเกี่ยวกับการอนุรักษ์แหล่งหญ้าทะเล มีการคิดค้นวิธีการเพาะเลี้ยงและการปลูกหญ้าทะเลขึ้น เช่น ทวีปยุโรป อเมริกา ออสเตรเลีย และในบางประเทศในเอเชีย เช่น ฟิลิปปินส์ (Calumpong *et al*., 1992)

ในการศึกษาครั้งนี้เป็นการเพาะเลี้ยงหญ้าใบมะกรูดหรือหญ้าเงาหรือหญ้าอำพัน (*Halophila ovalis*) ในห้องปฏิบัติการ ซึ่งเป็นหญ้าทะเลที่มีการแพร่กระจายมากที่สุดในประเทศไทย (Sudara *et al*., 1992) พบทั้งบริเวณชายฝั่งทะเลอ่าวไทยและชายฝั่งทะเลอันดามัน เนื่องจากหญ้าใบมะกรูดเป็นหญ้าทะเลเขตน้ำตื้นสามารถปรับตัวตามแหล่งที่อยู่ได้ดีกว่าหญ้าทะเลชนิดอื่น (วิสุทธิ์ และ

คณะ, 2545) ซึ่งจะเป็นข้อมูลพื้นฐานในการที่จะนำไปประยุกต์ใช้กับการขยายพันธุ์หญ้าใบมะกรูด เพื่อเป็นแหล่งอาหาร ที่วางไข่ และหลบซ่อนศัตรูของสัตว์น้ำ นอกจากนี้ยังสามารถนำข้อมูลไปใช้เป็นแนวทางในการอนุรักษ์แหล่งหญ้าทะเล ตลอดจนการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวเพื่อป้องกันผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

1.2 การตรวจเอกสาร

1.2.1 หญ้าใบมะกรูด

หญ้าใบมะกรูด, หญ้าใบกลม, หญ้าเงา หรือหญ้าอำพัน เป็นหนึ่งในหญ้าทะเลสกุล *Halophila* spp. ซึ่งมีอยู่ 16 ชนิด (Kuo, 2007; Short *et al*., 2007) มีชื่อวิทยาศาสตร์: *Halophila ovalis* (R. Brown) Hooker f. และชื่อสามัญ: Spoon-grasses (Fortes, 1990)

จัดอยู่ใน Division : Anthophyta

Class : Monocotyledoneae

Family : Hydrocharitaceae (Deboer, 1981)

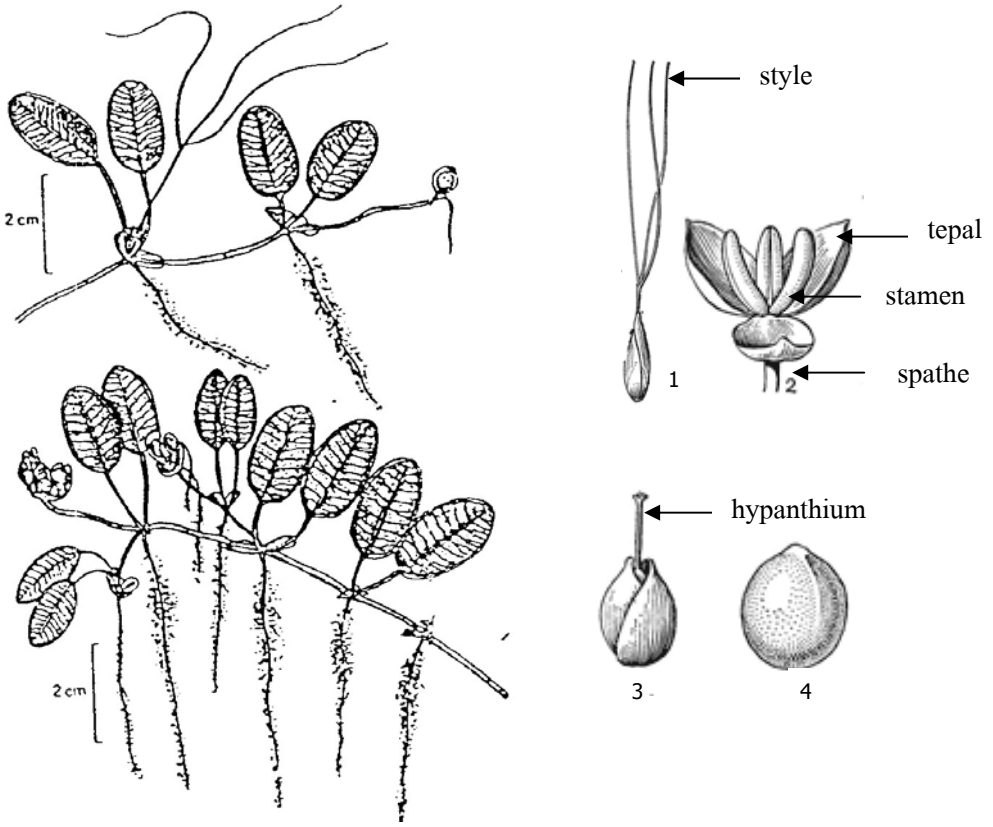
1.2.2 ลักษณะทั่วไปของหญ้าใบมะกรูด

ลักษณะ เป็นหญ้าทะเลขนาดเล็ก ต้นเกิดจากเหง้าอวบใสเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.4-1.7 มิลลิเมตร แต่ละข้อมีช่วงห่าง 1.2-6.2 มิลลิเมตร ต้นสูง 1.8-6.0 เซนติเมตร (เสาวภา, 2537)

ใบเกิดเป็นคู่ตรงข้อ แต่ละข้อมีราก 1 เส้น ใบมีก้านใบ (petiole) ผอมยาว ความยาว 0.8-3.1 เซนติเมตร ตัวใบเป็นรูปไข่ ความยาว 0.8-2.9 เซนติเมตร ความกว้าง 3.0-8.1 มิลลิเมตร ปลายใบกลมมน ขอบใบเรียบมีเส้นกลางใบ 1 เส้น และเส้นขวางใบแยกจากเส้นกลางใบจำนวน 12-19 คู่ บางเส้นปลายแยกออกเป็น 2 แฉก ปลายของเส้นขวางใบยาวจรดเส้นขอบใบ บริเวณโคนใบมีใบเกล็ด (scale) รองรับ 1 คู่ ตัวใบมีสีเขียวเข้มหรือสีเขียวอมเหลือง ใบที่ยังอ่อนจะมีลักษณะบางใส เปราะง่าย (กาญจนภาชน์ และคณะ, 2534)

ดอกตัวผู้และดอกตัวเมียแยกต้น ดอกตัวผู้มีก้านสั้นๆ มีกาบดอก (spathe) 2 กาบบางใส ไม่มีสี กลีบดอก (tepal) มี 3 กลีบ อับเรณู (anther) เป็นแท่งยาวมี 3 ชุด ดอกตัวเมียไม่มีก้าน มีกาบหุ้มรังไข่ 2 กาบประกบกัน รังไข่กลมรี ก้านชูยอดเกสรตัวเมีย (style) ต่อจากรังไข่ยาว 7 มิลลิเมตร ปลายแยกเป็น 3 แฉก เป็นเส้นยาว 2.5-3.0 เซนติเมตร

ผลรี มีจงอย ภายในมีเมล็ดจำนวนมาก จะพบดอกและผลในระหว่างเดือนมกราคม-พฤษภาคม (กาญจนภาชน์ และคณะ, 2534) (ภาพที่ 1)

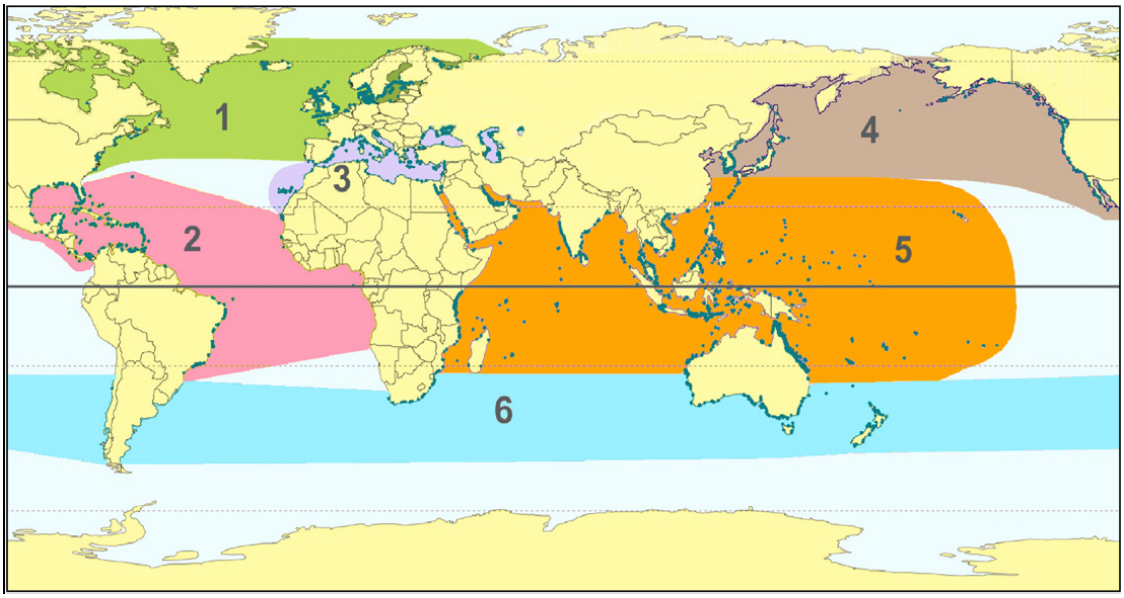


ภาพที่ 1 ลักษณะของหญ้าใบมะกรูด (*Halophila ovalis*) 1: ดอกตัวผู้, 2: ดอกตัวเมีย, 3: ผล และ 4: เมล็ด

ที่มา : เสาวภา (2537); Tzvelev (2006)

1.2.3 การแพร่กระจายของหญ้าใบมะกรูดในประเทศไทย

แหล่งหญ้าทะเลทั่วโลกแบ่งออกเป็น 6 แหล่ง (เขตอบอุ่น 4 แหล่ง และเขตร้อน 2 แหล่ง) (Short *et al*., 2007) (ภาพที่ 2) โดยแหล่งหญ้าทะเลในประเทศไทยอยู่ในเขตร้อน (Tropical Indo-Pacific) ซึ่งในประเทศไทยพบแหล่งหญ้าทะเลทั้งบริเวณชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตอนบน ชายฝั่งทะเลอ่าวไทยทางภาคใต้ และชายฝั่งทะเลอันดามัน ครอบคลุมพื้นที่ของจังหวัดรวม 16 จังหวัด ชนิดที่มีการแพร่กระจายมากที่สุดคือ หญ้าใบมะกรูด (*Halophila ovalis*) โดยพบเกือบทุกจังหวัดในน่านน้ำไทย ได้แก่ ตราด ระยอง ประจวบคีรีขันธ์ สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช สงขลา ปัตตานี ตรัง ภูเก็ต กระบี่ และ พังงา (สมถวิล, 2540)



ภาพที่ 2 แหล่งหญ้าทะเลทั่วโลก 6 แหล่ง: 1. Temperate North Atlantic, 2. Tropical Atlantic, 3. Mediterranean, 4. Temperate North Pacific, 5. Tropical Indo-Pacific, 6. Temperate Southern Oceans.

ที่มา: Short และคณะ (2007)

หญ้าใบมะกรูดสามารถทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมได้สูง มีรายงานว่าในเขตร้อนสามารถพบหญ้าชนิดนี้ซึ่งส่วนใหญ่พบในเขตน้ำตื้นแต่ในบางครั้งก็พบในเขตน้ำลึก และพบในบริเวณพื้นที่ที่มีลักษณะต่างๆ ตั้งแต่แนวชายฝั่งที่มีพื้นโคลน และโคลนปนทราย (den Hartog, 1970) เนื่องจากต้นมีขนาดเล็กและรากบอบบางจึงไม่สามารถยึดเกาะพื้นได้มั่นคงเหมือนหญ้าทะเลชนิดอื่น ประกอบกับต้นมีขนาดสั้นบางครั้งจึงโดนทรายหรือโคลนกลบ ดังนั้นหากขึ้นอยู่ในบริเวณที่คลื่นลมสงบจะพบได้หนาแน่นและแผ่ขยายเป็นบริเวณกว้าง และอาจขึ้นปนอยู่กับหญ้าทะเลชนิดอื่น เช่น *Halodule uninervis*, *Halodule pinifolia* และ *Cymodocea serrulata* (ชัชรี, 2544)

1.2.4 ปัจจัยสภาพแวดล้อมบางประการที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของหญ้าใบมะกรูด

1.2.4.1 ขนาดตะกอนดิน จะเป็นปัจจัยแรกที่มีผลในการกำหนดชนิดของหญ้าทะเล หญ้าทะเลแต่ละชนิดจะเจริญเติบโตได้ดีในดินที่แตกต่างกัน ซึ่งหญ้าใบมะกรูดพบได้ตั้งแต่พื้นที่ทรายหยาบ ทรายปนซากปะการัง ทรายปนโคลนไปจนถึงโคลนละเอียด (den Hartog, 1970) และจากการสำรวจบ่อกุ้งร้างแบบเปิดซึ่งมีทางติดต่อกับทะเลพบแนวหญ้าใบมะกรูดขึ้นอยู่รอบขอบบ่อและในบ่อกุ้งที่มีลักษณะดินเป็นโคลนปนทราย (Hillman *et al*., 1995)

1.2.4.2 ความเค็ม หญ้าทะเลมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงความเค็มในช่วงกว้าง อาจจะสูงหรือต่ำกว่าน้ำทะเลปกติ ความแตกต่างเหล่านี้ขึ้นอยู่กับชนิดของหญ้าทะเล ซึ่งมีผลให้เกิดการแพร่กระจายของหญ้าทะเลในระดับความเค็มต่างๆกัน โดยทั่วไปพบว่าหญ้าทะเลสามารถทนความเค็มได้ในช่วง 5-60 ส่วนในพัน (Walker, 1989) สำหรับในประเทศไทยหญ้าทะเลสามารถทนทานต่อความเค็มในช่วง 28-32 ส่วนในพัน (กาญจนภาชน์ และคณะ, 2534) หญ้าใบมะกรูดสามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงความเค็มในช่วงกว้าง (den Hartog, 1970) ระหว่าง 10-40 ส่วนในพัน ขึ้นอยู่กับฤดูกาลแต่จะเจริญเติบโตได้ดีในความเค็มระหว่าง 15-35 ส่วนในพัน (Hillman *et al*., 1995)

1.2.4.3 อุณหภูมิ หญ้าทะเลสามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำได้ดีและยังเป็นปัจจัยที่มีผลในการกำหนดชนิดของหญ้าทะเลในแต่ละพื้นที่ โดยสามารถพบหญ้าทะเลได้ในอุณหภูมิตั้งแต่ 25-43 องศาเซลเซียส (Biebl and McRoy, 1971; Campbell *et al*., 2006; Diaz-Almela *et al*., 2007; Ehlers *et al*., 2008) หญ้าใบมะกรูดสามารถพบได้ทั้งในเขตอบอุ่นและเขตร้อน (Short *et al*., 2007) แต่ส่วนใหญ่จะพบในสภาพภูมิอากาศเขตร้อน (den Hartog, 1970) ส่วนเขตอบอุ่นจะพบในน้ำที่มีอุณหภูมิสูงประมาณ 28 องศาเซลเซียส (Kuo *et al*., 2001) และพบในประเทศไทยได้ในอุณหภูมิ 28-32 องศาเซลเซียส (กาญจนภาชน์ และคณะ, 2534)

1.2.4.4 ความลึก การแพร่กระจายตามความลึกของหญ้าทะเลขึ้นอยู่กับปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่างๆ เช่น ระดับความลึก คลื่น กระแสน้ำ สภาพพื้นท้องทะเล ความขุ่นของน้ำ และความสามารถที่แสงส่องลงในน้ำ โดยปกติแล้วสามารถพบหญ้าทะเลได้ตั้งแต่เขตน้ำขึ้นจนถึงระดับความลึกประมาณ 85 เมตร (den Hartog, 1970) ในเขตอบอุ่นจะพบหญ้าทะเลขึ้นเป็นหย่อมๆในเขตน้ำขึ้นน้ำลง แต่ในเขตร้อนพบขึ้นกระจัดกระจายทั่วไปตั้งแต่ 10 เมตร จนถึงระดับความลึก 70 เมตร (Short *et al*., 2007) หญ้าใบมะกรูดสามารถพบได้ในเขตน้ำตื้นจนถึงความลึก 35 เมตร (Coles *et al*., 2000) ในเวียดนามพบแหล่งหญ้าใบมะกรูดหนาแน่นที่ระดับลึก 1-1.4 เมตร (Huong *et al*., 2003) และในไทยพบได้ตั้งแต่ชายฝั่งที่น้ำท่วมถึงไปจนถึงระดับความลึกต่ำกว่า 2 เมตร (กาญจนภาชน์ และคณะ, 2534)

1.2.4.5 ฤดูกาล จะมีความสัมพันธ์กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น อุณหภูมิ ความเค็ม และปริมาณแสง เป็นต้น ซึ่งจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตและการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศของหญ้าทะเล โดยจะมีผลต่อความหนาแน่นของยอด การยาวขึ้นของเหง้าและพัฒนาการของดอก หญ้าใบมะกรูดจะเริ่มออกดอกในเดือนพฤศจิกายนก่อนฤดูฝนและอีกครั้งในเดือนเมษายน (Hillmam *et al*., 1995; Vermaat *et al*., 1995; Nakaoka and Aioi, 1999) นอกจากนี้ในฤดูฝนหญ้าใบมะกรูดจะ

เจริญเติบโตได้น้อยเนื่องจากมีอุณหภูมิ ความเค็ม และปริมาณแสงที่ต่ำไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของหญ้าใบมะกรูด (Hillmam *et al*., 1995)

1.2.4.6 แสง ปริมาณแสงที่ส่องลงมาในแต่ละภูมิประเทศจะมีความแตกต่างกัน เช่น ในเขตร้อนจะมีปริมาณแสงสูงกว่าเขตหนาวและเขตอบอุ่น ซึ่งทำให้หญ้าทะเลแต่ละแหล่งต้องการปริมาณแสงที่แตกต่างกัน (Björk *et al*., 2008) ปริมาณแสงที่ส่องลงไปในน้ำจะเปลี่ยนแปลงตามระดับความลึกทำให้มีผลต่อมวลชีวภาพของหญ้าทะเล กำลังผลิต และปริมาณคลอโรฟิลล์ที่เหมาะสมรวมทั้งปัจจัยต่างๆที่เปลี่ยนแปลงตามความลึก เช่น ชนิดดินตะกอน และการเคลื่อนที่ของน้ำ แสงจึงเป็นปัจจัยสภาพแวดล้อมเบื้องต้นที่เป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงระดับความลึก โดยปกติหญ้าใบมะกรูดพบได้ในเขตน้ำตื้นที่มีความเข้มแสงสูงกว่า 1,200 μmol photons/m^2/sec (Erftemeijer *et al*., 1993) แต่ก็สามารถพบได้ในเขตลึก 15-30 เมตร ที่มีความเข้มแสง 33 μmol photons/m^2/sec (Erftemeijer and Stapel, 1999) ในประเทศไทยพบหญ้าใบมะกรูดได้บริเวณอุทยานแห่งชาติหาดเจ้าไหม จังหวัดตรัง ซึ่งมีความเข้มแสงประมาณ 25,000-50,00 lux และพบได้น้อยในช่วงฤดูฝน (<4,000 lux) (จากการสำรวจและเก็บตัวอย่างหญ้าทะเลในพื้นที่)

1.2.4.7 ความขุ่น เป็นปัจจัยที่เกี่ยวเนื่องกับความเข้มแสงที่ส่องผ่านลงไปในน้ำ เนื่องจากหญ้าทะเลต้องการความเข้มแสงมากในการเจริญเติบโต ดังนั้นแหล่งที่พบหญ้าทะเลสภาพของน้ำจะใสไม่มีความขุ่น ซึ่งตรงข้ามกับสังคมป่าชายเลนซึ่งมีสภาพน้ำค่อนข้างขุ่นไปด้วยสารอินทรีย์ต่างๆ ซึ่งความขุ่นของน้ำจะเป็นตัวจำกัดกระบวนการสังเคราะห์แสง จึงเป็นการยากที่จะพบหญ้าทะเลบริเวณป่าชายเลน (เสาวภา, 2537) หญ้าใบมะกรูดพบได้ในบริเวณคลื่นลมสงบและมีความขุ่นน้อย (Viaroli *et al*., 2001) เช่น บริเวณหาดในอุทยานแห่งชาติหาดเจ้าไหม จังหวัดตรัง

1.2.4.8 ธาตุอาหาร ในธรรมชาติธาตุอาหารจะเป็นปัจจัยจำกัดการเจริญเติบโตของหญ้าทะเลโดยเฉพาะในเขตร้อน (Terrados *et al*., 1999; Ferdie and Fourqurean, 2004) และเขตอบอุ่นบางส่วน ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่กำจัดการเจริญเติบโตของหญ้าทะเลส่วนฟอสฟอรัสจะมีผลมากน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณของคาร์บอนเนต (Short *et al*., 1990; Short *et al*., 1993) นอกจากนี้ยังมีเหล็กที่เป็นธาตุอาหารที่จำกัดการเจริญเติบโต (Duarte *et al*., 1995) วรรณา และคณะ (2545) เปรียบเทียบสภาพแวดล้อมบางประการบริเวณหาดยาวในอุทยานแห่งชาติหาดเจ้าไหมและหาดราชมงคล พบว่าค่าเฉลี่ยของสภาพแวดล้อมทั้ง 2 บริเวณ มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยบริเวณหาดยาวมีเปอร์เซ็นต์ organic matter, เปอร์เซ็นต์ sand และเปอร์เซ็นต์ silt สูงกว่าบริเวณหาดราชมงคล มีผลทำให้อัตราการรอด การเจริญเติบโต และความหลากหลายของหญ้าทะเลบริเวณหาดยาวมีมากกว่าบริเวณหาดราชมงคล สอดคล้องกับรายงานของกรมป่าไม้ (2537) ที่รายงานว่าสภาพแวดล้อมเป็นปัจจัยสำคัญต่ออัตราการรอดและการเจริญเติบโตของหญ้าทะเล

1.2.5 ความสำคัญและประโยชน์ของหญ้าใบมะกรูด

หญ้าใบมะกรูดมีความสำคัญต่อสิ่งแวดล้อมและระบบนิเวศชายฝั่งด้านต่างๆ ดังต่อไปนี้

1.2.5.1 แหล่งอาหาร

หญ้าใบมะกรูดเป็นอาหารโดยตรงของสัตว์ทะเลขนาดใหญ่ เช่น เต่า และพะยูน จากการรายงานของกาญจนา และคณะ (2542) พบว่า หญ้าใบมะกรูด หญ้าชะเงาเต่า และหญ้าชะเงาใบยาว เป็นหญ้าทะเลที่พะยูนชอบกิน

1.2.5.2 แหล่งหลบภัยและอนุบาลสัตว์น้ำวัยอ่อน

จากการสำรวจแนวหญ้าใบมะกรูดบริเวณชายฝั่งทะเลอันดามันของกฤษณ (2542) พบลูกสัตว์น้ำชนิดต่างๆ เช่น ปลาเก๋า ปลากะพง ปู กุ้ง และหอย ในแนวหญ้าใบมะกรูดเพื่อใช้เป็นแหล่งหลบภัยจากสัตว์น้ำที่มีขนาดใหญ่ เป็นแหล่งวางไข่ ฟักตัว และอนุบาลของสัตว์น้ำหลายชนิด นอกจากนี้ยังเป็นที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก เช่น สัตว์กลุ่มแอมฟิพอด (Amphipod) และสัตว์กลุ่มไส้เดือนทะเล (Polychaete) ซึ่งจะเป็นอาหารโดยตรงของสัตว์น้ำหลายชนิดที่อาศัยอยู่ในบริเวณนั้น (สุวลักษณ์ และคณะ, 2534)

1.2.5.3 ป้องกันการพังทลายของชายฝั่งและรองรับการตกตะกอน

หญ้าใบมะกรูดมีลำต้นที่ประสานกันอย่างหนาแน่นคล้ายผืนเสื่อ มีรากเหง้าชอนไชอยู่ใต้พื้นทะเลประมาณ 10 เซนติเมตร ทำให้ยึดเกาะพื้นได้ดีและยังมีใบปกคลุมอย่างหนาแน่น (จิตติมา และคณะ, 2535) จึงสามารถช่วยต้านคลื่นลมโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงที่มีพายุรุนแรง Fonseca และ Cahalan (1992) รายงานว่า แนวหญ้าทะเลสามารถลดแรงปะทะจากกระแสคลื่นได้ถึง 40 % ส่วน Hemminga (1998) รายงานว่า นอกจากรากและเหง้าของหญ้าทะเลที่แผ่ไปตามพื้นช่วยป้องกันการพังทลายของชายฝั่ง ใบของหญ้าทะเลบางชนิด เช่น *Zostersa marina* ในเขตอบอุ่น หรือ *Enhalus acoroides* ในเขตร้อน สามารถลดการพังทลายของชายฝั่งได้

1.2.5.4 บำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งทะเล

นอกจากหญ้าใบมะกรูดจะมีความสำคัญต่อระบบนิเวศชายฝั่งแล้ว ปัจจุบันยังได้นำหญ้าใบมะกรูดมาใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยนำหญ้าใบมะกรูดไปบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งทะเล (วลีรัตน์ และคณะ, 2537; จำลอง และทักษิณา, 2548) และพบว่าสามารถลดปริมาณสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสได้ดี โดยสามารถลดแอมโมเนีย, ไนไตรท์, ไนเตรท และออร์โธฟอสเฟต เท่ากับ 80.63%, 92.05%, 79.63% และ 85.22% ตามลำดับ

1.2.6 การเพาะเลี้ยงหญ้าใบมะกรูด

ปัจจุบันยังไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับการเพาะเลี้ยงหญ้าทะเลในห้องปฏิบัติการ โดยส่วนใหญ่แล้วจะเป็นการทดลองปลูกในสภาพพื้นที่ตามธรรมชาติ เช่น บริเวณหาดต่างๆ การปลูกหญ้าทะเลเพื่อฟื้นฟูแหล่งหญ้าทะเลที่เคยมีอยู่เดิมแต่เสื่อมโทรมลงนั้น อาจทำได้โดยการเก็บเมล็ดของหญ้าทะเลมาเพาะให้เจริญเติบโตพอสมควรและมีรากที่สมบรูณ์ แล้วจึงนำไปปลูกในแหล่งที่เหมาะสม เช่น เกาะโอกินาวา ประเทศญี่ปุ่น ได้ประสบความสำเร็จในระดับหนึ่ง โดยการนำเมล็ดของหญ้า *Thalassia hemprichii* มาเพาะแล้วนำไปปลูก โดยให้ต้นกล้าของหญ้าทะเลติดกับวัสดุประเภทใยปอหรือตะแกรงที่สามารถย่อยสลายได้ในภายหลังและไม่เกิดมลภาวะต่อสภาพแวดล้อม ซึ่งต่อมาพบว่าหญ้าทะเลเจริญเติบโตได้ดี แต่ทั้งนี้ต้องคำนึงปริมาณของเมล็ดพันธุ์หญ้าทะเลว่ามีมากน้อยเพียงใดในธรรมชาติและควรพิจารณาปล่อยให้เมล็ดพันธุ์นั้นมีการแพร่พันธุ์ในแหล่งเดิมตามธรรมชาติได้ด้วย (สมบัติ และคณะ, 2549) จากการศึกษาของวัฒนา และวรวุฒิ (2542) ได้ทดลองนำหญ้า *Enhalus acoroides* จากอุทยานแห่งชาติหาดเจ้าไหม มาปลูกบริเวณหาดราชมงคล อำเภอสิเกา จังหวัดตรัง เพื่อดูสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม อัตราการรอดตายและการเจริญเติบโต พบว่าอัตราการรอดตายและการเจริญเติบโตของหญ้าทะเลที่นำมาปลูกที่หาดราชมงคลมีค่าอยู่ในระดับต่ำ เนื่องจากหาดราชมงคลมีองค์ประกอบของดินเป็นโคลนเลนในปริมาณมากและเป็นทรายน้อย บริเวณที่หญ้า *Enhalus acoroides* ขึ้นอยู่อุดมสมบูรณ์ดินจะมีส่วนประกอบของทรายละเอียดและเปลือกหอยแตกอยู่มากเพื่อจะเป็นที่ยึดเกาะของรากได้ดี Hillman และคณะ (1995) รายงานว่าพื้นที่ในบ่อกุ้งที่ลักษณะดินเป็นโคลนปนทรายจะพบหญ้าใบมะกรูดในพื้นที่ดังกล่าวเป็นชนิดเด่น

หญ้าทะเลดูดซึมธาตุอาหารพวกไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากดินและน้ำทะเลเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต โดยส่วนของใบจะสามารถดูดซึมธาตุอาหารจากน้ำทะเลได้ดี (Short *et al*., 1985) Petersen และคณะ (1997) รายงานว่าคุณภาพน้ำที่แหล่งหญ้าทะเลบริเวณชายฝั่งทางตอนใต้ของออสเตรเลียมีอัตราส่วนไนโตรเจนรวม : ฟอสฟอรัสรวมเฉลี่ย 15:1 และที่อุทยานแห่งชาติหาดเจ้าไหม จังหวัดตรัง บริเวณที่พบแนวหญ้าใบมะกรูดมีอัตราส่วนไนโตรเจนรวม : ฟอสฟอรัสรวมเฉลี่ย 14:1 นอกจากนี้บริเวณบ้านหาดทรายแก้ว จังหวัดสงขลา ที่สามารถพบหญ้าตะกานน้ำเค็มและหญ้าใบมะกรูดมีอัตราส่วนไนโตรเจนรวม : ฟอสฟอรัสรวมเฉลี่ย 5:1 ดังนั้นการที่จะนำหญ้าใบมะกรูดไปปลูกเพิ่มเติมในแหล่งธรรมชาติหรือปลูกในตู้พันธุ์ไม้น้ำนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษาอัตราส่วนของธาตุอาหารและใช้ข้อมูลการศึกษาการเพาะเลี้ยงพืชน้ำชนิดอื่นๆเพื่อดัดแปลงไปใช้ในการศึกษาการเพาะเลี้ยงหญ้าใบมะกรูด

อย่างไรก็ตามได้มีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายทะเลโดยศึกษาอัตราส่วนไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส แหล่งของไนโตรเจน และความหนาแน่นของสาหร่ายที่มีผลต่อการเจริญเติบโต เพื่อนำมา

ประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งทะเล โดยสันติ (2546) ได้ทดลองเลี้ยงสาหร่าย *Caulerpa lentillifera* โดยใช้ปุ๋ย KNO_3 เป็นแหล่งของไนโตรเจนและปุ๋ย KH_2PO_4 เป็นแหล่งของฟอสฟอรัส ในอัตราส่วนไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสเท่ากับ 8:1 ที่ระดับความเข้มข้นปุ๋ยเท่ากับ 4 มิลลิกรัม/ลิตร พบว่าสาหร่ายที่เลี้ยงที่ความหนาแน่น 1 กรัม/ลิตร มีเปอร์เซ็นต์การเจริญเติบโตสูงสุด Fong และคณะ (2004) ศึกษาการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Enteromorpha intestinalis* ในน้ำทะเลที่มีอัตราส่วนไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส 6 ระดับ พบว่าที่อัตราส่วน 600:60 สาหร่ายเจริญเติบโตได้ดีที่สุด และที่ระดับความเข้มข้น 1000 : 100 สาหร่ายไม่สามารถเจริญเติบโตได้ ในขณะที่ Lapointe และ Ryther (1978) พบว่า สาหร่าย *Gracilaria tikvahiae* ที่เลี้ยงในปุ๋ยไนเตรท : ปุ๋ยฟอสเฟต ในอัตราส่วน 10 : 1 ที่ความหนาแน่น 0.4 กิโลกรัม/ตารางเมตร มีอัตราการเจริญเติบโตสูงสุด และจากการศึกษาการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Polycarvernosa changii* หรือ *Gracilaria changii* โดยใช้ปุ๋ยยูเรีย พบว่าที่ความเข้มข้น 1.9 กรัม/ลูกบาศก์เมตร สาหร่ายมีการเจริญเติบโตดีที่สุด (สมศักดิ์ และคณะ, 2534) Deboer (1981) รายงานว่า ไนโตรเจนจากปุ๋ยแอมโมเนียจะทำให้สาหร่าย *Gracilaria foliifera* มีอัตราการเจริญเติบโตสูงสุดเมื่อเทียบกับปุ๋ยไนโตรเจนในรูปอื่นๆ และการทดลองดังกล่าวสามารถนำมาดัดแปลงเพื่อใช้ในการศึกษาการเพาะเลี้ยงหญ้าใบมะกรูดในห้องปฏิบัติการได้ เนื่องจากหญ้าใบมะกรูดต้องการสารอาหารเพื่อการเจริญเติบโตเช่นเดียวกับพืชทั่วไป และน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งทะเลก็มีสารอาหารที่หญ้าใบมะกรูดต้องการ

1.2.7 น้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้ง

ปัจจุบันการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลได้เพิ่มขยายเป็นธุรกิจขนาดใหญ่ นำรายได้เข้าสู่ประเทศเป็นจำนวนมากในแต่ละปี เนื่องจากการเลี้ยงกุ้งทะเลส่วนใหญ่เป็นการเลี้ยงแบบหนาแน่น โดยมีการปล่อยลงเลี้ยงในบ่อ ตั้งแต่ 50-100 ตัว/ตารางเมตร (คมน์ และรัชดาภรณ์, 2546) มีการให้อาหารสำเร็จรูปเป็นหลักและให้อาหารสดเสริมในช่วงระยะเวลาเดือนสุดท้ายของการเลี้ยง ดังนั้นหากการจัดการทางด้านระบบการเลี้ยงไม่ดีเพียงพอก็จะมีผลให้อาหารบางส่วนเหลือตกค้างอยู่ก้นบ่อ ซึ่งตามปกติแล้วการขับถ่ายของเสียจากตัวกุ้งและการตายของแพลงก์ตอนในบ่อเลี้ยงกุ้งจะมีปริมาณที่ค่อนข้างสูงอยู่แล้ว (ประทีป, 2544) จากการเลี้ยงกุ้งทะเลผู้ประกอบการส่วนใหญ่จะดำเนินการปล่อยน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยตรง ไม่มีการบำบัดน้ำทิ้งก่อนแต่อย่างใด ก่อให้เกิดปัญหาสภาวะมลพิษทางน้ำ

สิริ และคณะ (2548) ศึกษาน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเล เพื่อประเมินผลกระทบต่อระบบนิเวศในทะเลสาบสงขลา พบว่า น้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมในฟาร์มขนาดเล็ก (<10 ไร่) และขนาดกลาง (10-50 ไร่) ในจังหวัดสงขลาและพัทลุง มีตัวแปรสารแขวนลอย แอมโมเนีย

ฟอสฟอรัสรวม ไฮโดรเจนซัลไฟด์ และไนโตรเจนรวม (ตารางที่ 1) มีค่าสูงกว่าค่าที่กำหนดไว้ในมาตรฐานน้ำทิ้งเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง (กรมควบคุมมลพิษ, 2550) ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ระบบนิเวศของทะเลสาบมีโอกาสเสื่อมโทรม เนื่องจากแพลงก์ตอนพืชและสาหร่ายเจริญเติบโตมากเกินไปในแหล่งน้ำ สอดคล้องกับการศึกษาของพุทธ และคณะ (2550) ซึ่งศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตกับคุณภาพน้ำทิ้งและตะกอนดินจากการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมแบบพัฒนาความหนาแน่น 100,000-240,000 ตัว/ไร่ พบว่า คุณภาพน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งมีค่าแอมโมเนียรวม, ไนโตรเจนรวม, ฟอสฟอรัสรวม, สารแขวนลอย และค่าบีโอดี สูงกว่าค่าที่กำหนดไว้ในมาตรฐานน้ำทิ้งเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง (กรมควบคุมมลพิษ, 2550)

ตารางที่ 1 คุณภาพน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม ตามรายงานของสิริ และคณะ (2548) และพุทธ และคณะ (2550)

ตัวแปรคุณภาพน้ำ	มาตรฐานน้ำทิ้ง	รายงานของ สิริ และคณะ (2548)	รายงานของ พุทธ และคณะ (2550)
บีโอดี (มก./ล.)	≤ 20.0	3.7-19.9	12.2-40.2
สารแขวนลอย (มก./ล.)	≤ 70.0	55.0-345.0	87.0-480.0
แอมโมเนีย (มก./ล.)	≤ 1.1	0.1-5.5	0.4-37.2
ไนโตรเจนรวม (มก.ไนโตรเจน/ล.)	≤ 4.0	3.5-14.8	7.8-61.0
ฟอสฟอรัสรวม (มก.ฟอสฟอรัส/ล.)	≤ 0.4	0.3-0.6	0.14-1.03
ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (มก./ล.)	≤ 0.01	0.1-2.2	-

Muthuwan และ Lin (1996) รายงานว่า การถ่ายน้ำจากการเลี้ยงกุ้งทำให้ธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสถูกปลดปล่อยสู่แหล่งน้ำธรรมชาติเฉลี่ย 45% และ 26% ของธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทั้งหมดที่เข้าสู่ระบบการเลี้ยงกุ้ง

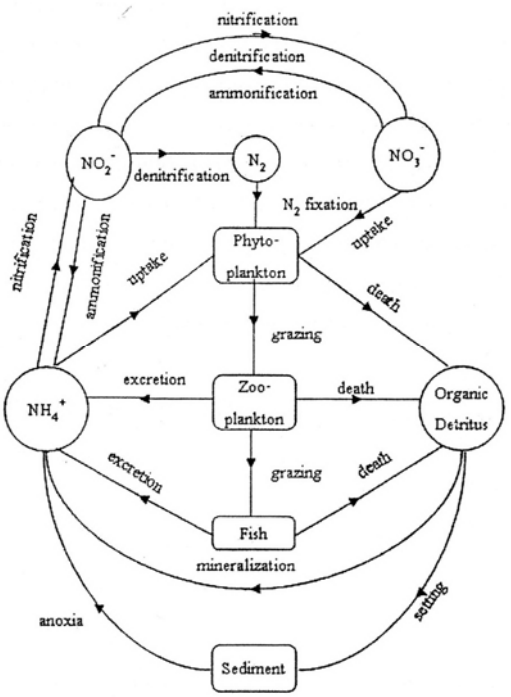
เนื่องจากน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งมีธาตุอาหารต่างๆละลายอยู่ในปริมาณมาก โดยเฉพาะสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของแพลงก์ตอนพืช ก่อให้เกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสีซึ่งเรียกว่า “ปรากฏการณ์ขี้ปลาวาฬ” หรือ Red Tide และทำให้สัตว์น้ำตายเนื่องจากแหล่งน้ำขาดออกซิเจน (กรมควบคุมมลพิษ, 2545)

1.2.7.1 ธาตุอาหารในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งทะเล

สารประกอบไนโตรเจน

ในบรรดาธาตุอาหารต่างๆ ไนโตรเจนมีความสำคัญเป็นพิเศษ เพราะเป็นหนึ่งในธาตุจำกัดของสิ่งมีชีวิต (biolimiting element) กล่าวคือ ความเข้มข้นของไนโตรเจนที่น้อยเกินไป สามารถจำกัดการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตได้ (O' Neill, 1993)

ไนโตรเจนเข้าสู่แหล่งน้ำโดยการระบายน้ำเสียจากแห่งชุมชน ไนโตรเจนจากบรรยากาศ (atmospheric deposition) การตรึงไนโตรเจน (nitrogen fixation) (Dojlido and Best, 1993; Marshall and Fairbridge, 1999) และการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (FAO, 1992; Beveridge, 1996) เป็นต้น ขณะเดียวกันไนโตรเจนที่เข้ามาจะถูกนำออกไปจากแหล่งน้ำได้โดยกระแสน้ำขึ้น-ลง และกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (Gönenc and Wolflin, 2005) (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 วัฏจักรของไนโตรเจนในแหล่งน้ำ

ที่มา : Gönenc และ Wolflin (2005)

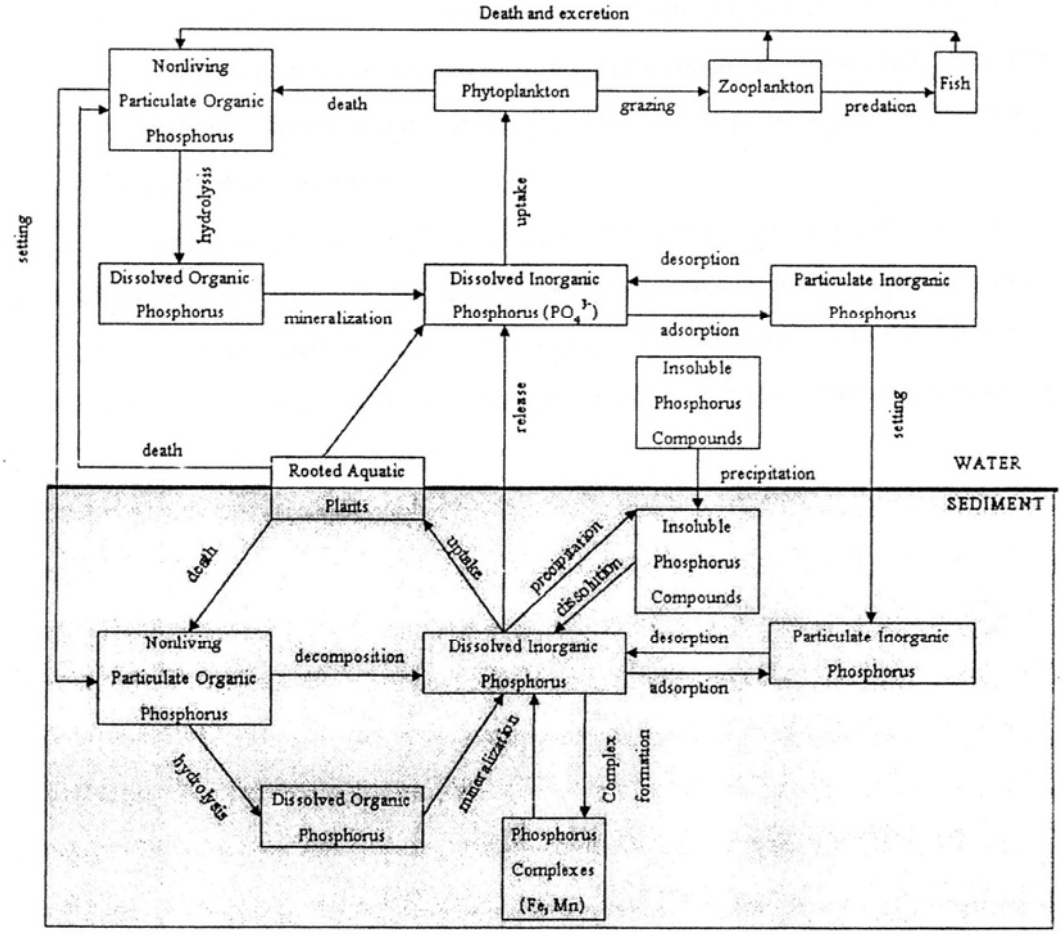
สารประกอบไนโตรเจนในแหล่งน้ำแบ่งออกเป็น ไนโตรเจนอินทรีย์ ได้แก่ กรดอะมิโนต่างๆ กับไนโตรเจนอนินทรีย์ ได้แก่ ไนไตรท์ ไนเตรท และแอมโมเนีย (Gönenc and Wolflin, 2005) ในน้ำทิ้งจากบ่อกุ้งทะเลจะมีปริมาณแอมโมเนียสูงซึ่งเกิดจากการขับถ่ายของกุ้งและเศษอาหารตกค้าง (Forsberg and Summerfelt, 1992) โดยแอมโมเนียมีความเป็นพิษมากที่สุดในกลุ่มสารประกอบไนโตรเจน แอมโมเนียมีความเป็นพิษทั้งที่อยู่ในรูปของ NH_4^+ และแอมโมเนียอิสระ Lin และคณะ (1993) ได้ศึกษาความเป็นพิษของแอมโมเนียในกุ้ง *Penaeus japonicus* พบว่าในระยะ Nauplius มีค่า LC50 ที่ 48 ชั่วโมง เท่ากับ 0.5 มิลลิกรัม/ลิตร ในระยะ Zoeae, Mysis, Post-larvae และ

Juvenile มีค่า LC50 ที่ 96 ชั่วโมง เท่ากับ 0.6-0.7, 0.9, 1.3 และ 3.1 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ Chiu (1998) กล่าวว่า กุ้งทะเลสามารถทนความเป็นพิษของแอมโมเนียที่ความเข้มข้น 0.6-2.0 มิลลิกรัม/ลิตร ได้ในช่วงสั้นๆ และกุ้งที่อยู่ในความเข้มข้นของแอมโมเนียที่สูงกว่านี้มีโอกาสติดเชื้อโรคต่างๆได้ง่าย ขณะที่สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (2534) กำหนดค่าแอมโมเนียที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งควรมีค่าต่ำกว่า 0.4 มิลลิกรัม/ลิตร ในสภาวะที่มีออกซิเจน แอมโมเนียที่เกิดขึ้นจะถูกออกซิไดส์ไปเป็นไนไตรท์และไนเตรท ซึ่งพืชน้ำและแพลงก์ตอนพืชจะนำไนเตรทไปใช้ในการเจริญเติบโต และหากมีปริมาณไนเตรทมากเกินไปแพลงก์ตอนก็เจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว

สารประกอบฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสมีความสำคัญต่อระบบนิเวศของแหล่งน้ำเนื่องจากเป็นธาตุอาหารที่จำกัดการเจริญเติบโตของผู้ผลิตในแหล่งน้ำและควบคุมอัตราการเกิดยูโทรฟิเคชันได้ (Randall *et al*. 1992)

ฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำได้มาจากกระบวนการกัดกร่อนตามธรรมชาติ การเกษตรกรรม (Gönenc and Wolflin, 2005) การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (FAO, 1992; Dojlido and Best, 1993; Beveridge, 1996) นอกจากนี้ฟอสฟอรัสในน้ำยังได้จากแหล่งกำเนิดภายในแหล่งน้ำ จากการสลายตัวเป็นธาตุของสารประกอบฟอสฟอรัสที่ผิวน้ำและท้องน้ำ (Gönenc and Wolflin, 2005) (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 วัฏจักรของฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำ

ที่มา : Gönenc และ Wolflin (2005)

ฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำแบ่งออกเป็น 2 รูป คือ รูปที่ละลายน้ำประกอบด้วยออร์โธฟอสเฟต (PO_4^{3-}) หรือฟอสฟอรัสอนินทรีย์ที่ละลายน้ำ กับรูปที่เป็นอนุภาคประกอบด้วยฟอสฟอรัสที่อยู่ในสิ่งมีชีวิตหรือซากสิ่งมีชีวิต (Allan, 1995; Gönenc and Wolflin, 2005) เฉพาะออร์โธฟอสเฟตหรือฟอสฟอรัสอนินทรีย์ที่ละลายน้ำเพียงรูปเดียวเท่านั้นที่แพลงก์ตอนพืชสามารถดูดไปใช้เพื่อการเจริญเติบโต (Gönenc and Wolflin, 2005) หลายพื้นที่ในประเทศไทยพบปัญหาสาหร่ายสะพรั่งหรือยูโทรฟิเคชัน เช่น บริเวณหาดชะอำและหัวหิน พบว่าความเข้มข้นของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในบริเวณนี้สูงมาก โดยเฉพาะฟอสฟอรัสที่สูงถึง 0.56-0.70 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งทำให้สัตว์น้ำในบริเวณดังกล่าวตายเป็นจำนวนมาก (ธงชัย, 2544) นอกจากนี้แพลงก์ตอนพืชที่มีมากอาจทำให้สัตว์น้ำตายเนื่องจากขาดออกซิเจน และส่งผลให้น้ำที่จะนำมาเลี้ยงกุ้งมีคุณภาพต่ำ อีกทั้งอาจโน้มนำให้เกิดโรคระบาดในกุ้งได้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2545)

ด้วยเหตุดังกล่าวจึงได้มีการศึกษาเพื่อหาแนวทางในการลดไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ในน้ำทิ้งจากฟาร์มเลี้ยงกุ้งโดยใช้สาหร่ายทะเล เช่น สาหร่ายผมนาง (คณิต และคณะ, 2535; ศิริวรรณ, 2538) สาหร่ายพวงองุ่น (วลีรัตน์ และพุทธ, 2547) สาหร่ายมงกุฎหนาม (ธวัช และคณะ, 2548) ตลอดจนพืชน้ำชั้นสูง เช่น หญ้าทะเล (จำลอง และทักษิณา, 2548) ซึ่งสาหร่ายทะเลและพืชน้ำชั้นสูงเหล่านี้มีประสิทธิภาพในการลดสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสอนินทรีย์ได้ดีแต่ทั้งนี้ต้องมีปริมาณเหมาะสม

1.2.8 การใช้หญ้าทะเลบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งทะเล

ในประเทศไทยพบว่า มีหญ้าทะเลเจริญเติบโตอย่างสมบูรณ์มากในบ่อดินที่ใช้เป็นบ่อพักน้ำทะเล หรือในบ่อดินที่เป็นบ่อเลี้ยงกุ้งหรือสัตว์น้ำอื่นๆ เช่น พบหญ้า *Halophila ovalis* ในบ่อพักน้ำทะเล บริเวณอ่าวคุ้งกระเบน จังหวัดจันทบุรี หรือบ่อดินพักน้ำทะเลของศูนย์พัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำปากเม็ง จังหวัดตรัง โดยพบหญ้าทะเลอย่างน้อย 3 ชนิด คือ หญ้า *Halophila ovalis*, *Cymodocea serrulata* และ *Halodule pinifolia* พบหญ้า *Ruppia maritime* ที่บางขุนเทียน กรุงเทพฯ บางกระซ้าขาวและบางกระเจ้า จังหวัดสมุทรสาคร สำหรับศูนย์วิจัยและทดสอบพันธุ์สัตว์น้ำเพชรบุรีก็พบหญ้า *Ruppia maritime* ด้วยเช่นกัน (สมบัติ และคณะ, 2549) หญ้าทะเลที่เจริญเติบโตในบ่อพักน้ำทะเลและบ่อเลี้ยงกุ้งรวมทั้งบ่อบำบัดน้ำทะเลจากการเพาะเลี้ยง สามารถนำไปปลูกเพิ่มเติมในแหล่งธรรมชาติเพื่อฟื้นฟูแหล่งหญ้าทะเลที่เสื่อมโทรมได้หรือไม่นั้น ยังต้องศึกษาถึงความเป็นไปได้เพราะในทะเลมีปัจจัยที่เป็นอุปสรรคมากมาย เช่น พื้นที่ที่เหมาะสม กระแสน้ำ รวมถึงความคุ้มทุนของเงินและแรงงาน ซึ่งจะนำมาเปรียบเทียบกับการรักษาแหล่งหญ้าทะเลตามธรรมชาติคงไม่ได้ สิ่งที่สำคัญคือปัจจัยที่ทำให้เกิดความเสื่อมโทรมของแหล่งหญ้าทะเลนั้นต้องถูกแก้ไขให้หมดสิ้นก่อนที่จะทำการฟื้นฟู ส่วนในบ่อพักน้ำทะเลนั้นหญ้าทะเลมีประโยชน์ในการช่วยดูดซึมสารอาหารที่มีอยู่ในน้ำทะเลซึ่งส่งผลดีช่วยทำให้น้ำทะเลมีคุณภาพดีขึ้นและเหมาะกับการนำไปใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ อีกทั้งควรมีการทดลองเลี้ยงสัตว์น้ำบางชนิดในบ่อที่มีหญ้าทะเล เช่น ปูม้า ปลิง และกุ้งมังกร เพราะหญ้าทะเลเป็นที่หลบภัยและแหล่งอาหารที่ดีให้กับสัตว์น้ำเหล่านั้น (สมบัติ และคณะ, 2549)

จำลอง และทักษิณา (2548) ศึกษาประสิทธิภาพของหญ้าใบมะกรูดในการลดปริมาณสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งทะเล โดยทดลองใช้หญ้าใบมะกรูดที่มีความหนาแน่นแตกต่างกัน คือ 1.0, 2.0 และ 3.0 กิโลกรัม/ตารางเมตร ตามลำดับ ในถังไฟเบอร์กลาสขนาดจุ 250 ลิตร และมีปริมาตรน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ 200 ลิตร พบว่าหญ้าทะเลที่มีความหนาแน่น 2.0 กิโลกรัม/ตารางเมตร มีประสิทธิภาพในการลดแอมโมเนีย, ไนไตรท์, ไนเตรท และออร์โธฟอสเฟต มีค่าเท่ากับ 80.63%, 92.05%, 79.63% และ 85.22% ตามลำดับ โดยสามารถนำ

น้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำไปบำบัดในบ่อบำบัดที่มีหญ้าใบมะกรูดเป็นระยะเวลาประมาณ 5 วัน ก่อนที่จะระบายน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติหรือหมุนเวียนนำกลับมาใช้ นอกจากนี้ยังได้มีการทดลองนำสาหร่ายมาใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งทะเล เช่น สาหร่าย *Caulerpa lentillifera* (สันติ, 2546) และสาหร่าย *C. macrophysa* (ศิริวรรณ, 2538) ซึ่งการทดลองดังกล่าวสามารถนำมาประยุกต์เพื่อใช้ในการศึกษาการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวของหญ้าใบมะกรูดในห้องปฏิบัติการได้

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.3.1 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของหญ้าใบมะกรูดในห้องปฏิบัติการ ได้แก่ ความเค็มของน้ำ และอัตราส่วนของไนโตรเจนรวม : ฟอสฟอรัสรวม และแหล่งของปุ๋ยไนโตรเจน

1.3.2 ศึกษาการเลี้ยงหญ้าใบมะกรูดในดินและน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่มีอัตราการปล่อยต่างกัน

1.3.3 ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวของหญ้าใบมะกรูดที่ความหนาแน่นต่างๆ และอัตราการดูดซับธาตุอาหารในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวของหญ้าใบมะกรูด

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของหญ้าใบมะกรูด ได้แก่ ความเค็มของน้ำ อัตราส่วนปุ๋ยของไนโตรเจนรวม : ฟอสฟอรัสรวม และศึกษาการเจริญเติบโตของหญ้าใบมะกรูดที่ปลูกในดินและน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่มีอัตราการปล่อยต่างกัน และความหนาแน่นที่เหมาะสมของหญ้าใบมะกรูดในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวภายใต้สภาวะห้องปฏิบัติการ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 สามารถนำข้อมูลไปใช้เป็นแนวทางในการขยายพันธุ์หญ้าใบมะกรูดตามแหล่งหญ้าทะเลธรรมชาติ และตามบ่อดินที่ใช้เป็นบ่อพักน้ำทะเล ในบ่อดินที่เป็นบ่อเลี้ยงกุ้งหรือสัตว์น้ำอื่นๆโดยปลูกเพิ่มเติมจากในแหล่งธรรมชาติเพื่อฟื้นฟูแหล่งหญ้าทะเลที่เสื่อมโทรม

1.5.2 นำข้อมูลที่ได้ไปประยุกต์ใช้เลี้ยงหญ้าใบมะกรูดในตู้พันธุ์ไม้น้ำทะเลเพื่อสร้างอาชีพและเพิ่มรายได้

1.5.3 นำหญ้าใบมะกรูดไปปลูกในบ่อพักน้ำทะเลหรือในบ่อดินที่เป็นบ่อเลี้ยงกุ้งหรือสัตว์น้ำอื่นๆ เพื่อช่วยลดสารประกอบไนโตรเจนและสารประกอบฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงสัตว์น้ำก่อนปล่อยน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติเพื่อลดปัญหาสภาวะมลพิษทางน้ำ

บทที่ 2

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

2.1 วัสดุและอุปกรณ์

2.1.1 อุปกรณ์สำหรับเลี้ยงหญ้าใบมะกรูด

- ถังไฟเบอร์กลาสทรงสี่เหลี่ยม ขนาด 100x200x60 ซม.
- ตู้กระจก ขนาด 30x60x30 ซม.
- ชั้นเหล็กสำหรับติดตั้งหลอดไฟฟ้าฟลูออร์เรสเซนต์
- หลอดไฟฟ้าฟลูออเรสเซนต์ชนิด Day Light 36 วัตต์
- เครื่องให้อากาศ หัวทราย
- ตะกร้าพลาสติกใส่หญ้า เส้นผ่านศูนย์กลาง 9 ซม.
- ปุ๋ยเคมีสำหรับเลี้ยงหญ้าทะเล ได้แก่ NH_4Cl, KNO_3 และ KH_2PO_4

2.1.2 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างน้ำ

- ขวดพลาสติก (polyethylene) ขนาดจุ 500 มล.
- ลังโฟมสำหรับเก็บรักษาน้ำตัวอย่าง

2.1.3 เครื่องมือและอุปกรณ์วิเคราะห์คุณภาพน้ำ

- เครื่อง Spectrophotometer ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น UV-2401 pc
- เครื่องวัดความเค็ม Salinity refractometer ยี่ห้อ ATAGO รุ่น Master S 28M
- เครื่องวัด พี เอช ยี่ห้อ Hanna รุ่น 8417 N
- เครื่องวัดความเข้มแสง Lux meter ยี่ห้อ Extech รุ่น EA 30
- เครื่องวัดค่าออกซิเจนละลายน้ำ ยี่ห้อ Cyberscan รุ่น PD 300
- เทอร์มอมิเตอร์แบบปรอท
- สารเคมีสำหรับวิเคราะห์น้ำ
- กระดาษกรอง Whatman GF/C Ø 47 มิลลิเมตร

- หม้อนึ่งความดัน
- ตู้อบ และโถดูดความชื้น
- เครื่องชั่งทศนิยม 2 และ4 ตำแหน่ง
- เครื่องแก้วสำหรับวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ได้แก่ หลอดทดลอง, ขวดรูปชมพู่, บิวเรต, บีกเกอร์ และขวดปรับปริมาตร (Volumetric flask)

2.2 วิธีการวิจัย

2.2.1 การเตรียมหญ้าใบมะกรูด

รวบรวมหญ้าใบมะกรูดจากอุทยานแห่งชาติหาดเจ้าไหม จังหวัดตรัง โดยน้ำมีความเค็มเฉลี่ย 30 ส่วนในพัน ความเข้มแสงอยู่ในช่วง 4,000- 50,000 lux อุณหภูมิน้ำผิวดินเฉลี่ย 29 องศาเซลเซียส และมีความลึกช่วงน้ำขึ้นสูงสุดเฉลี่ย 1.6-2.5 เมตร ทำการเก็บหญ้าในช่วงน้ำลงต่ำสุดโดยใช้กรอบโลหะสี่เหลี่ยมขนาด 20x30 เซนติเมตร วางลงบนแนวหญ้าใบมะกรูด ใช้มีดกรีดตามแนวขอบกรอบโลหะ จากนั้นใช้เสียมขุดลงไปตามแนวขอบกรอบโลหะลึกประมาณ 10 เซนติเมตร เพื่อไม่ให้ทำลายรากของหญ้า นำแผ่นหญ้าใบมะกรูดขึ้นมาแล้วใช้น้ำทะเลล้างดินออกให้สะอาดโดยล้างอย่างระมัดระวังให้หญ้าได้รับการกระทบกระเทือนน้อยที่สุด จากนั้นนำหญ้าใบมะกรูดมาเลี้ยงไว้ในถังไฟเบอร์กลาสขนาด 500 ลิตร โดยใช้น้ำทะเลที่มีความเค็ม 30 ส่วนในพัน และให้อากาศตลอดเวลาเป็นเวลา 10 วัน ก่อนการทดลองแบ่งหญ้าใบมะกรูดออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกนำมาปรับสภาพโดยการเติมน้ำจืดปรับความเค็มของน้ำที่ใช้เลี้ยงให้มีความเค็มลดลงวันละ 1-2 ส่วนในพัน ปรับจนความเค็มเท่ากับ 15, 20 และ 25 ส่วนในพัน ส่วนที่ 2 นำมาปรับสภาพโดยการเติมเกลือแกง (NaCl) ปรับความเค็มของน้ำที่ใช้เลี้ยงให้มีความเค็มเพิ่มขึ้นวันละ 1-2 ส่วนในพัน ปรับจนความเค็มเท่ากับ 40 ส่วนในพัน การปรับสภาพใช้เวลาประมาณ 7-15 วัน

ก่อนเริ่มทำการทดลอง นำหญ้าใบมะกรูดที่ปรับสภาพแล้วมานับจำนวนใบและชั่งน้ำหนักสดของหญ้าให้เท่ากันทุกชุดการทดลอง โดยก่อนชั่งน้ำหนักจะซับหญ้าใบมะกรูดด้วยกระดาษซับ (tissue paper) เพื่อให้ได้น้ำหนักที่แท้จริง แล้วนำไปใช้เป็นข้อมูลเริ่มต้นสำหรับการหาการเจริญเติบโตเมื่อสิ้นสุดแต่ละการทดลอง (ภาพที่ 5)

ภาพที่ 5 การเตรียมหญ้าใบมะกรูดก่อนเริ่มทำการทดลอง

2.2.2 การเตรียมสภาพการทดลอง

การทดลองทำในอาคารและมีการเปิดไฟฟ้าให้แสงสว่างโดยใช้หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ชนิด Day Light 36 วัตต์ จำนวน 2 หลอด และวัดค่าความสว่างที่ผิวน้ำได้ 6,000 lux ซึ่งเพียงพอกับความต้องการของพืชในการสังเคราะห์ด้วยแสง (ศรีสม, 2549) แหล่งกำเนิดแสงในตู้ไม้น้ำส่วนใหญ่ที่ให้ความเข้มแสงไม่มากไปกว่า 80-100 µmol photons/m^2/sec ซึ่งน้อยมากเมื่อเทียบกับแหล่งกำเนิดแสงตามธรรมชาติ (Anderson *et al*., 2007) และหญ้าใบมะกรูดสามารถพบได้ในเขตลึก 15-30 เมตร ที่มีความเข้มแสง 33 µmol photons/m^2/sec (Erftemeijer and Stapel, 1999) และ Paibulkichakul และคณะ (2005) รายงานว่า สาหร่ายช่อพริกไทยที่เลี้ยงในความเข้มแสง 4,000-8,000 lux สามารถดูดซึมสารประกอบไนโตรเจนได้ดี และให้แสงสว่างวันละ 12 ชั่วโมง (Kilminster *et al*., 2006) มีการให้อากาศตลอดการทดลองและทำการทดลองในตู้กระจกขนาด 30x60x30 เซนติเมตร (ภาพที่ 6)

ภาพที่ 6 การเตรียมสภาพการทดลอง

2.3 ศึกษาสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของหญ้าใบมะกรูด

2.3.1 ศึกษาระดับความเค็มที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของหญ้าใบมะกรูด

จากการสำรวจตามธรรมชาติบริเวณที่พบหญ้าใบมะกรูดแพร่กระจายอย่างเต็มที่มีความหนาแน่น 3 กิโลกรัม/ตารางเมตร (จำลอง และทักษิณา, 2548) เมื่อคำนวณพื้นที่ของตะกร้าที่ใช้ใส่หญ้าใบมะกรูดในการทดลองพบว่ามีพื้นที่ 0.6 ตารางเซนติเมตร ดังนั้นจึงดัดแปลงใช้หญ้าใบมะกรูด 20 กรัม เพื่อให้มีความหนาแน่นเต็มที่เหมือนในแหล่งหญ้าตามธรรมชาติ และจากการศึกษาของสันติ (2546) พบว่า สาหร่ายพวงองุ่นที่มีความหนาแน่น 1 กรัม/ลิตร มีเปอร์เซ็นต์การเจริญเติบโตดีที่สุด ดังนั้นจึงบรรจุน้ำทะเลตู้ละ 20 ลิตร ซึ่งมีความเค็มแตกต่างกัน 6 ระดับ คือ 15, 20, 25, 30 (ชุดควบคุม), 35 และ 40 ส่วนในพัน โดยใช้แหล่งน้ำกร่อย (บ่อพักน้ำทะเล) ที่มีความเค็ม 12 ส่วนในพัน โดยกรองน้ำด้วยถุงกรองแพลงก์ตอนขนาดช่องตา 50 ไมครอน และใยแก้วกรองน้ำ เติมเกลือแกงเพื่อปรับความเค็มให้เพิ่มจนได้ระดับความเค็มตามที่ต้องการ การทดลองความเค็มแต่ละระดับมี 3 ซ้ำ ทำการทดลองเลี้ยงนาน 10 วัน เนื่องจากหญ้าใบมะกรูดมีอายุใบเฉลี่ย 10-22 วัน (Kilminster *et al*., 2006) ก่อนการทดลองจะชั่งน้ำหนักสดของหญ้าใบมะกรูดให้ได้ 20 กรัม และนับจำนวนใบที่มีขนาดเท่ากัน (กว้างประมาณ 1 เซนติเมตร) ให้ได้ 150 ใบ เท่ากันทุกชุดการทดลอง ชั่งน้ำหนักสดและนับจำนวนใบทุก 5 วัน ในทุกวันจะทำการเก็บใบที่ร่วงออกจากตู้จนสิ้นสุดการทดลอง ตรวจวัดความเค็มให้ได้ค่าตามที่กำหนดในแต่ละชุดการทดลอง หากความเค็มเปลี่ยนแปลง เช่น ความเค็มเพิ่มขึ้นจะทำการเติมน้ำกลั่นเพื่อให้ความเค็มคงเดิมและให้น้ำมีปริมาตร20 ลิตรเท่าเดิม ทำการเก็บตัวอย่างน้ำในทุกชุดการทดลองปริมาตร 100 มิลลิลิตร ไปวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนรวมและฟอสฟอรัสรวมก่อนและหลังทำการทดลองเพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการทดลองต่อไป

2.3.2 ศึกษาอัตราส่วนของไนโตรเจนรวม : ฟอสฟอรัสรวม และแหล่งของปุ๋ยไนโตรเจนที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของหญ้าใบมะกรูด

กำหนดชุดการทดลองเป็นแบบ 2x3 Factorial คือ แหล่งของไนโตรเจนและความเข้มข้นของอัตราส่วนไนโตรเจนรวม : ฟอสฟอรัสรวม โดยแหล่งของไนโตรเจนที่ใช้ คือ จากปุ๋ยไนเตรท (ใช้ปุ๋ยโพแทสเซียมไนเตรท) และปุ๋ยแอมโมเนีย (ใช้ปุ๋ยแอมโมเนียมคลอไรด์) เนื่องจากแอมโมเนียและไนเตรทเป็นสารประกอบไนโตรเจนที่มีปริมาณมากในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้ง เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการปลูกหญ้าใบมะกรูดในบ่อพักน้ำทิ้ง บำบัดสารประกอบไนโตรเจนก่อนปล่อยลงแหล่งน้ำตามธรรมชาติ โดยมีวิธีการเตรียมสารละลายมาตรฐานของปุ๋ยไนโตรเจนและฟอสฟอรัส จากวิธีของ APHA และคณะ (1980) ปรับใช้ความเข้มข้นของไนโตรเจนรวมให้ได้ 5

มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งเป็นระดับความเข้มข้นของไนโตรเจนที่เพียงพอในการเจริญเติบโตของพืช (ศรีสม, 2549) และใช้ปุ๋ยโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตปรับความเข้มข้นของฟอสฟอรัสน้ำทะเล ทำการทดลองในตู้ทดลองโดยใช้ความเค็มที่ดีที่สุดในการเจริญเติบโตของหญ้าใบมะกรูดและทำการเตรียมน้ำทะเลเช่นเดียวกับการทดลองที่ 2.3.1 แบ่งการทดลองออกเป็น 6 ชุดทดลองๆ ละ 3 ซ้ำ และชุดควบคุมซึ่งไม่ใส่ปุ๋ย (ดังตารางที่ 2) บรรจุน้ำทะเลที่ได้ปรับความเข้มข้นของไนโตรเจนรวมโดยใช้ปุ๋ยไนเตรทและปุ๋ยแอมโมเนียและใส่ในตู้ทดลองตู้ละ 20 ลิตร แล้วจึงปรับความเข้มข้นของฟอสฟอรัสรวมโดยใช้ปุ๋ยโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต และใช้อัตราส่วนของไนโตรเจนรวม : ฟอสฟอรัสรวมที่วิเคราะห์จากการทดลองที่ 2.3.1 จากความเค็มที่มีการเจริญเติบโตที่ดีที่สุดเป็นตัวกำหนดค่าความเข้มข้นเบื้องต้น จากการรายงานของสมบัติ และคณะ (2549) พบหญ้าใบมะกรูดเจริญเติบโตอย่างสมบูรณ์ในบ่อดินที่ใช้เป็นบ่อพักน้ำทะเลหรือในบ่อดินที่เป็นบ่อเลี้ยงกุ้งหรือสัตว์น้ำอื่นๆ ซึ่งมีปริมาณสารอาหารในน้ำสูง และแหล่งหญ้าใบมะกรูดตามธรรมชาติมีอัตราส่วนไนโตรเจนรวม : ฟอสฟอรัสรวม เท่ากับ 15:1 ดังนั้นจึงดัดแปลงความเข้มข้นของอัตราส่วนไนโตรเจนรวม : ฟอสฟอรัสรวมเป็น 4 : 1, 8 : 1 และ 12 : 1 ในทุกชุดการทดลอง (ยกเว้นชุดควบคุม) ซึ่งพืชจะดูดซึมและสะสมสารประกอบไนโตรเจนได้อย่างรวดเร็วเมื่อมีฟอสฟอรัสในปริมาณน้อย (สมศักดิ์ และคณะ, 2534)

ตารางที่ 2 แหล่งของไนโตรเจนและความเข้มข้นของอัตราส่วนไนโตรเจนรวม : ฟอสฟอรัสรวม (TN : TP) ที่ใช้ในการศึกษาการเจริญเติบโตของหญ้าใบมะกรูด

แหล่งของไนโตรเจน	ความเข้มข้นของอัตราส่วน TN : TP
ปุ๋ยไนเตรท	4 : 1
	8 : 1
	12 : 1
ปุ๋ยแอมโมเนีย	4 : 1
	8 : 1
	12 : 1

* ชุดควบคุม คือ ชุดที่ใช้น้ำทะเลที่ไม่ใส่ปุ๋ย

ก่อนการทดลองจะชั่งน้ำหนักสดของหญ้าใบมะกรูดให้ได้ 20 กรัม และนับจำนวนใบที่มีขนาดเท่ากัน (กว้างประมาณ 1 เซนติเมตร) ให้ได้จำนวน 150 ใบ เท่ากันทุกชุดการทดลอง ทำ

การทดลองเลี้ยงหญ้าใบมะกรูดนาน 10 วัน ชั่งน้ำหนักสดและนับจำนวนใบทุก 5 วัน ในทุกวันจะทำการเก็บใบที่ร่วงออกจากตู้จนสิ้นสุดการทดลอง ทำการเก็บตัวอย่างน้ำในทุกชุดการทดลองปริมาตร 100 มิลลิลิตร ไปตรวจวัดความเค็มและวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนรวมและฟอสฟอรัสรวม แล้วปรับความเข้มข้นของอัตราส่วนไนโตรเจนรวม : ฟอสฟอรัสรวม ให้เท่ากับความเข้มข้นเมื่อเริ่มการทดลองทุก 5 วัน เพื่อให้ได้ความเข้มข้นของอัตราส่วนไนโตรเจนรวม : ฟอสฟอรัสรวมคงที่ตลอดการทดลอง เนื่องจากในการทดลองเกี่ยวกับการใช้ธาตุอาหารของพืช พบว่าพืชจะดูดซึมธาตุอาหารได้ดีในช่วง 5 วันแรก หลังจากนั้นปริมาณธาตุอาหารจะลดลงทำให้อัตราการเจริญเติบโตของพืชลดลง (วิวรรธน์, 2543; คมน์ และคณะ, 2548; จำลอง และทักษิณา, 2548)

2.4 ศึกษาการเจริญเติบโตของหญ้าใบมะกรูดที่ปลูกในดินจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว (*Penaeus vannamei*) ความหนาแน่นที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาว

2.4.1 การศึกษาชนิดของดินจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของหญ้าใบมะกรูด

แบ่งการทดลองออกเป็น 4 ชุดทดลองๆ ละ 3 ซ้ำ โดยใช้ดินจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่มีความหนาแน่นแตกต่างกัน คือ อัตราการปล่อย 80,000, 100,000, 150,000 ตัว/ไร่ และชุดควบคุม (ดินจากแหล่งที่เก็บหญ้าทะเล) ใส่ดินลงตะกร้าในตู้ทดลองตู้ละ 1 กิโลกรัม ก่อนการทดลองและทุก 5 วัน หาปริมาณอินทรีย์สารในตะกอนดิน ตามวิธีของ Walkley and Black modified (Nelson and Sommers, 1982) และวิเคราะห์ขนาดอนุภาคตะกอนดินโดยวิธีไฮโดรมิเตอร์ (วรากร และคณะ, 2525; Carter, 1993) อาศัยหลักการตกตะกอนของอนุภาคสารแขวนลอยที่มีน้ำเป็นตัวกลางของการแขวนลอย กำหนดความลึกและระยะเวลาในการตกตะกอน สามารถหาการกระจายตัวของอนุภาคในสารแขวนลอยนั้นได้ เมื่อรู้การกระจายขนาดอนุภาคตะกอนดินก็สามารถแยกประเภทเนื้อดินโดยใช้ตารางสามเหลี่ยมสำหรับแยกประเภทเนื้อดิน (Soil Textural Triangle) ได้ แต่ละตู้ใส่น้ำจากบ่อเลี้ยงกุ้งที่มีความหนาแน่นแตกต่างกัน โดยกรองน้ำด้วยถุงกรองแพลงก์ตอนขนาดช่องตา 50 ไมครอน และใยแก้วกรองน้ำ ในปริมาตร 20 ลิตร ปลูกหญ้าใบมะกรูดตู้ละ 20 กรัม และนับจำนวนใบที่มีขนาดเท่ากัน (กว้างประมาณ 1 เซนติเมตร) ให้ได้จำนวน 150 ใบ เท่ากันทุกชุดการทดลอง ทำการปลูกนาน 10 วัน วิธีการปลูกทำโดยใช้ไม้ขนาดเล็กเกลี่ยดินในตะกร้าให้ลึกประมาณ 8 เซนติเมตร เพื่อป้องกันไม่ให้รากเสียหายและทำให้รากของหญ้าทะเลชอนไชดินได้ง่ายขึ้น จากนั้นวางเหง้าแต่ละเหง้าลงไปแล้วกลบดินแต่ไม่ให้ดินกลบเหง้าทั้งหมด (ประมาณ ½ ของเหง้าตามแนวขวาง) และไม่ให้

กลบยอดและใบของหญ้าใบมะกรูด ชั่งน้ำหนักสดและนับจำนวนใบเริ่มต้นและอีกครั้งเมื่อสิ้นสุดการทดลอง และในทุกวันจะทำการเก็บใบที่ร่วงออกจากตู้เพื่อหาการเจริญเติบโต และก่อนปลูกหญ้าทะเลในดินจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวในความหนาแน่นต่างๆจะทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำ ได้แก่ ความเค็ม, ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ, ความเป็นกรด-ด่าง, สารแขวนลอย, แอมโมเนีย-ไนโตรเจน, ไนไตรท์-ไนโตรเจน, ไนเตรท-ไนโตรเจน และออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพน้ำจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวในความหนาแน่นต่างๆ กับการเจริญเติบโตของหญ้าใบมะกรูด

2.4.2 การศึกษาความหนาแน่นที่เหมาะสมของหญ้าใบมะกรูดที่เลี้ยงในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาว และประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาว

จากการศึกษาของทักษิณา (2541) ในการใช้หญ้าใบมะกรูดลดปริมาณ บีโอดี สารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ โดยใช้ความหนาแน่น 0.5, 1.0 และ1.5 กิโลกรัม ตามลำดับ ในถังไฟเบอร์กลาสที่บรรจุน้ำทิ้ง 200 ลิตร เป็นเวลา 7 วัน พบว่าที่ความหนาแน่น 1.0 กิโลกรัม มีประสิทธิภาพในการลดสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสได้ดีที่สุด ตั้งแต่ 64.64-92.05 เปอร์เซ็นต์ และสันติ (2546) ได้ศึกษาความหนาแน่นของสาหร่ายพวงองุ่นที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำเป็นเวลา 10 วัน พบว่า สาหร่ายพวงองุ่นที่มีความหนาแน่น 1 กรัม/ลิตร มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำได้ดีที่สุดใน 5 วันแรก หลังจากนั้นประสิทธิภาพในการบำบัดจะค่อยๆ ลดลง ดังนั้นในการทดลองครั้งนี้จึงใช้หญ้าใบมะกรูดที่มีความหนาแน่นแตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 5, 10, 15 และ 20 กรัม/ลิตร ตามลำดับ และนับจำนวนใบที่มีขนาดเท่ากัน (กว้างประมาณ 1 เซนติเมตร) ให้ได้จำนวน 35, 75, 110 และ 150 ใบ ตามลำดับ และไม่มีการให้อากาศ บรรจุน้ำทะเลที่กรองด้วยถุงกรองแพลงก์ตอนขนาดช่องตา 50 ไมครอน และใยแก้วกรองน้ำในตู้ทดลอง 20 ลิตร ตรวจวัดคุณภาพน้ำ ได้แก่ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ, สารแขวนลอย, แอมโมเนีย-ไนโตรเจน, ไนไตรท์-ไนโตรเจน, ไนเตรท-ไนโตรเจน และออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในน้ำ โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำในทุกชุดการทดลองปริมาตร 200 มิลลิลิตร ในเวลา 18.00 น. และทำการเติมน้ำกลั่นเพื่อให้มีปริมาตรน้ำคงเดิม ก่อนเริ่มทดลองและเมื่อเวลาผ่านไป 1, 3, 5, 7 และ 15 วัน ตามลำดับ เพื่อดูประสิทธิภาพในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาว เนื่องจากจำลอง และทักษิณา (2548) พบว่า หญ้าใบมะกรูดมีประสิทธิภาพในการลดแอมโมเนีย, ไนไตรท์, ไนเตรท และออร์โธฟอสเฟตได้ดีในระยะเวลาประมาณ 5 วันแรก ในทุกวันจะทำการเก็บใบที่ร่วงออกจากตู้และชั่งน้ำหนักสดของหญ้าใบมะกรูดเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

การคำนวณประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัส โดยดัดแปลงมาจากคมน์ และคณะ (2548) ดังนี้

$$\text{ประสิทธิภาพการบำบัด (\%)} = \left(\frac{(C_i - C_f) \times 100}{C_i} \right) \text{ของน้ำตัวอย่าง} - \left(\frac{(C_i - C_f) \times 100}{C_i} \right) \text{ของชุดควบคุม}$$

เมื่อ C_i = ความเข้มข้นของธาตุอาหารเมื่อเริ่มต้นที่เวลา t_1

C_f = ความเข้มข้นของธาตุอาหารที่เวลา t_2

2.4.3 การศึกษาอัตราการดูดซับธาตุอาหารในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวของหญ้าใบมะกรูด

จากการศึกษาของทักษิณา (2541) ในการใช้หญ้าใบมะกรูดลดปริมาณ บีโอดี สารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ที่มีอัตราการปล่อยกุ้งมากกว่า 60 ตัว/ตารางเมตร และมีอายุการเลี้ยงในช่วง 2-4 เดือน ในความเค็ม 28 ส่วนในพัน โดยใช้ความหนาแน่น 0.5, 1.0 และ 1.5 กิโลกรัม ตามลำดับ พบว่าหญ้าใบมะกรูดในทุกความหนาแน่นมีอัตราการดูดซับธาตุอาหารในน้ำทิ้งไม่แตกต่างกัน และดูดซับได้ดีในช่วง 3-5 วันแรก แล้วอัตราการดูดซับธาตุอาหารจะลดลงในวันถัดมา ดังนั้นในการทดลองใช้น้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวด้วยความหนาแน่น 80,000 ตัว/ไร่ ที่มีอายุการเลี้ยง 108 วัน ความเค็ม 27 ส่วนในพัน บรรจุในตู้ทดลอง 20 ลิตร โดยน้ำทะเลที่ใช้กรองด้วยถุงกรองแพลงก์ตอนขนาดช่องตา 50 ไมครอน และใยแก้วกรองน้ำ ใช้หญ้าใบมะกรูดที่ความหนาแน่น 20 กรัม/ลิตร และนับจำนวนใบที่มีขนาดเท่ากัน (กว้างประมาณ 1 เซนติเมตร) ให้ได้จำนวน 150 ใบ เก็บตัวอย่างน้ำปริมาตร 200 มิลลิลิตรและทำการเติมน้ำกลั่นให้มีปริมาตรน้ำคงเดิมเพื่อตรวจวัดคุณภาพน้ำ ได้แก่ แอมโมเนีย-ไนโตรเจน, ไนไตรท์-ไนโตรเจน, ไนเตรท-ไนโตรเจน และออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส ก่อนเริ่มทดลองและเมื่อเวลาผ่านไป 3, 5, 7 และ 9 วัน ตามลำดับ เพื่อดูอัตราการดูดซับธาตุอาหารของหญ้าใบมะกรูด ในทุกวันจะทำการเก็บใบที่ร่วงออกจากตู้และชั่งน้ำหนักสดของหญ้าใบมะกรูดเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

การคำนวนอัตราการดูดซับธาตุอาหารของหญ้าใบมะกรูด โดยดัดแปลงมาจากทักษิณา (2541) ดังนี้

$$= \left(\frac{(C_i - C_f) \times vol}{w \times t} \right) \text{ของน้ำตัวอย่าง} - \left(\frac{(C_i - C_f) \times vol}{t} \right) \text{ของชุดควบคุม}$$

เมื่อ C_i = ความเข้มข้นของธาตุอาหารเมื่อเริ่มต้นที่เวลา t_1

C_f = ความเข้มข้นของธาตุอาหารที่เวลา t_2

Vol = ปริมาตรน้ำ

w = น้ำหนักของหญ้าใบมะกรูด

t = ระยะเวลาในการทดลอง

หน่วย = มิลลิกรัม/กรัม/วัน

2.5 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

วิเคราะห์คุณภาพน้ำพารามิเตอร์ต่างๆด้วยวิธี ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 วิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำพารามิเตอร์ต่างๆ

Parameter	Methods
Ammonia-Nitrogen : NH_3-N	Modified indophenol blue method (Strickland and Parsons, 1972)
Nitrite-Nitrogen : NO_2-N	Diazotization (Strickland and Parsons, 1972)
Nitrate-Nitrogen : NO_3-N	Cadmium reduction method (Strickland and Parsons, 1972)
Orthophosphate : PO_4^{3-}	Molybdenum blue method (Strickland and Parsons, 1972)
Total Nitrogen : TN	Persulfate oxidation (Grasshoff *et al.,* 1983)
Total Phosphorus : TP	
Total Suspended Solid	APHA, AWWA and WPCF (1980)
Salinity	Salinity refractometer
Dissolved Oxygen	DO meter
pH	pH meter
Temperature	Thermometer
Light	Lux meter

2.6 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

การวิเคราะห์ผลทางสถิติของตัวแปร ใช้วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบแจกแจงทางเดียว (One-way analysis of variance: ANOVA), ทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของตัวแปรโดยวิธี Duncan's multiple range test, วิเคราะห์แบบ Univariate analysis of variance (Factorial designed) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และวิเคราะห์สหสัมพันธ์ Multiple regression แบบ Stepwise และ Correlation analysis ซึ่งการวิเคราะห์ทางสถิติทั้งหมดใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS V. 15.0

บทที่ 3

ผลการวิจัย

3.1 สภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของหญ้าใบมะกรูด

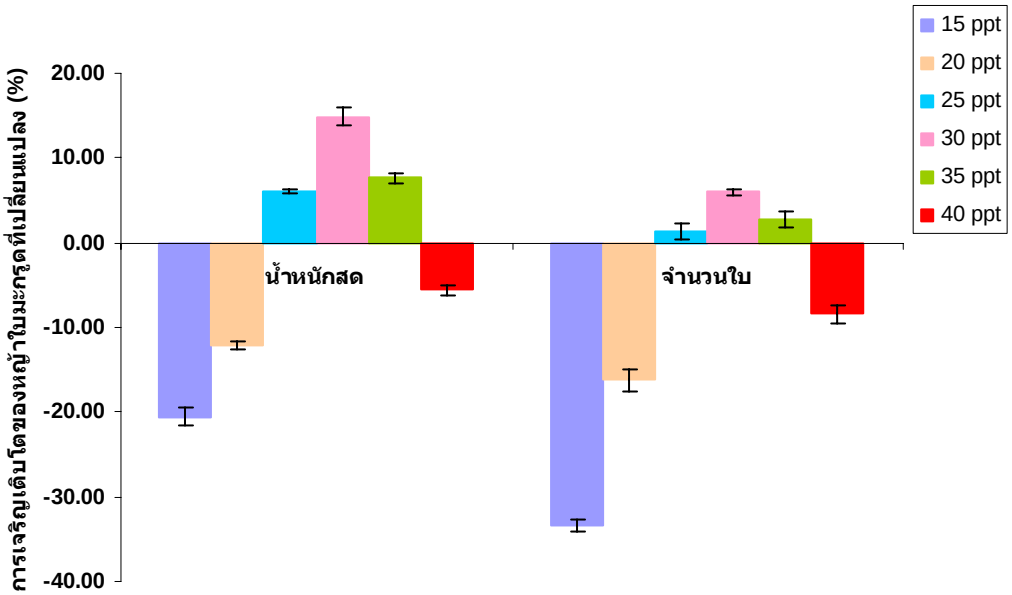
3.1.1 ระดับความเค็มที่เหมาะสม

จากการทดลองเลี้ยงหญ้าใบมะกรูดในน้ำที่มีความเค็มแตกต่างกัน 6 ระดับ คือ 15, 20, 25, 30, 35 และ 40 ส่วนในพัน พบว่าหลังจาก 10 วัน หญ้าใบมะกรูดที่เลี้ยงในความเค็ม 15 และ 20 ส่วนในพัน สีของใบจะค่อยๆซีดและเปลี่ยนไปโดยเริ่มมีสีม่วงตามแผ่นใบ ต่อมาใบก็เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและร่วงหล่นง่าย ส่วนหญ้าใบมะกรูดที่เลี้ยงในความเค็ม 40 ส่วนในพัน รูปร่างของใบจะเปลี่ยน ใบจะหยิก และเหง้าจะผอมลีบ ดังนั้นจึงหยุดการทดลองและได้ผลการทดลองดังนี้

3.1.1.1 การเจริญเติบโตของหญ้าใบมะกรูด

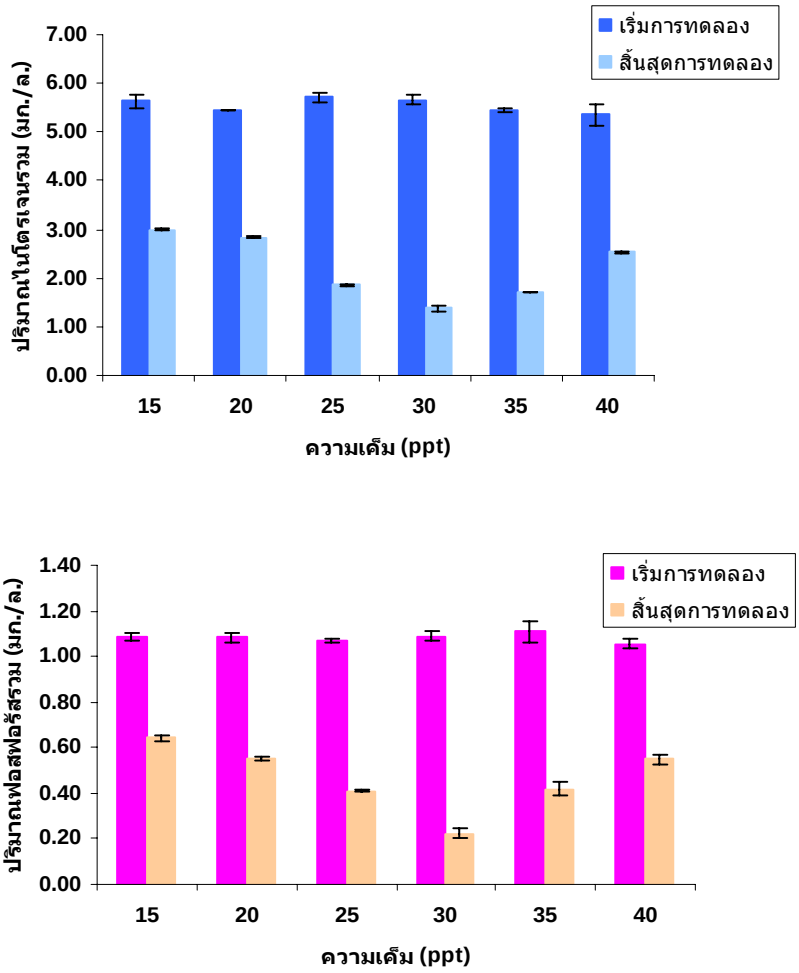
น้ำหนักสดของหญ้าใบมะกรูดก่อนการทดลองเท่ากับ 20 กรัม เมื่อเวลาผ่านไป 10 วัน พบว่าน้ำหนักสดที่เพิ่มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยหญ้าใบมะกรูดที่เลี้ยงในความเค็ม 30 ส่วนในพัน มีน้ำหนักสดเพิ่มขึ้นเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 14.88 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักเพิ่มขึ้นจากน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 2.98 กรัม รองลงมาคือหญ้าใบมะกรูดที่เลี้ยงในความเค็ม 35 และ 25 ส่วนในพัน ตามลำดับ ส่วนชุดการทดลองอื่นน้ำหนักสดของหญ้าใบมะกรูดลดลงจากเริ่มต้น โดยหญ้าใบมะกรูดที่เลี้ยงในความเค็ม 15 ส่วนในพัน มีน้ำหนักสดลดลงเฉลี่ยมากที่สุดเท่ากับ 20.55 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักลดลงจากน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 4.11 กรัม (ภาพที่ 7 และตารางภาคผนวกที่ 19)

จำนวนใบของหญ้าใบมะกรูดเริ่มต้นทดลองเท่ากับ 150 ใบ เมื่อเวลาผ่านไป 10 วัน พบว่าจำนวนใบที่เพิ่มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยหญ้าใบมะกรูดที่เลี้ยงในความเค็ม 30 ส่วนในพัน มีจำนวนใบเพิ่มขึ้นเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 6.00 เปอร์เซ็นต์ โดยจำนวนใบเพิ่มขึ้นจากจำนวนใบเริ่มต้นเฉลี่ย 9.00 ใบ รองลงมาคือหญ้าใบมะกรูดที่เลี้ยงในความเค็ม 35 และ 25 ส่วนในพัน ตามลำดับ ส่วนชุดการทดลองอื่นจำนวนใบของหญ้าใบมะกรูดลดลงจากเริ่มต้น โดยหญ้าใบมะกรูดที่เลี้ยงในความเค็ม 15 ส่วนในพัน มีจำนวนใบลดลงเฉลี่ยมากสุดเท่ากับ 33.33 เปอร์เซ็นต์ จำนวนใบลดลงจากจำนวนใบเริ่มต้นเฉลี่ย 50.00 ใบ (ภาพที่ 7 และตารางภาคผนวกที่ 19,



ภาพที่ 7 การเจริญเติบโตของหญ้าใบมะกรูดที่เลี้ยงในน้ำที่มีความเค็ม 15, 20, 25, 30, 35 และ 40 ส่วนในพัน เป็นระยะเวลา 10 วัน (ค่าเฉลี่ย $\pm$ ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)

3.1.1.2 ปริมาณไนโตรเจนรวมและฟอสฟอรัสรวมในน้ำระหว่างการทดลอง ปริมาณไนโตรเจนรวมเริ่มต้นอยู่ในช่วง 5.35-5.71 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) และเมื่อเวลาผ่านไป 10 วัน พบว่ามีค่าต่ำสุดในความเค็ม 30 ส่วนในพัน เฉลี่ยเท่ากับ 1.37 มิลลิกรัม/ลิตร และมีค่าสูงสุดในความเค็ม 15 ส่วนในพัน เฉลี่ยเท่ากับ 2.99 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) และปริมาณฟอสฟอรัสรวมเริ่มต้นอยู่ในช่วง 1.06-1.11 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) และเมื่อเวลาผ่านไป 10 วัน พบว่ามีค่าต่ำสุดในความเค็ม 30 ส่วนในพัน เฉลี่ยเท่ากับ 0.22 มิลลิกรัม/ลิตร และมีค่าสูงสุดในความเค็ม 15 ส่วนในพัน เฉลี่ยเท่ากับ 0.64 มิลลิกรัม/ลิตร มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) (ภาพที่ 8 และตารางภาคผนวกที่ 20)



ภาพที่ 8 ปริมาณไนโตรเจนรวมและฟอสฟอรัสรวมในน้ำที่มีความเค็ม 15, 20, 25, 30, 35 และ 40 ส่วนในพัน ซึ่งใช้เลี้ยงหญ้าใบมะกรูดเป็นระยะเวลา 10 วัน (ค่าเฉลี่ย ± ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)

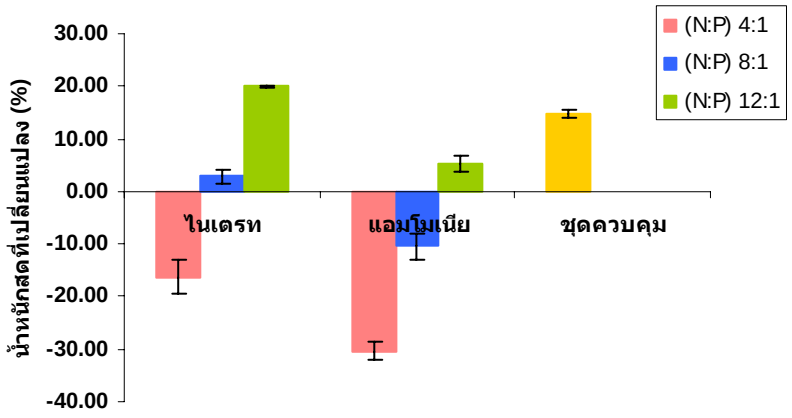
3.1.2 อัตราส่วนของไนโตรเจนรวม : ฟอสฟอรัสรวม และแหล่งของปุ๋ยไนโตรเจนที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของหญ้าใบมะกรูด

3.1.2.1 การเจริญเติบโตของหญ้าใบมะกรูด

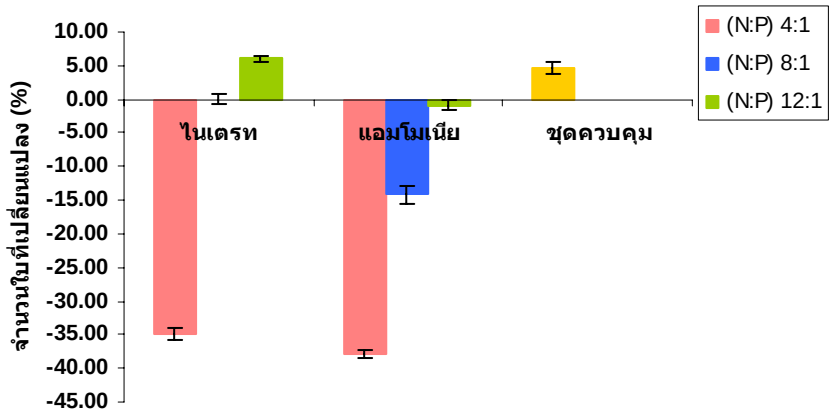
น้ำหนักสดของหญ้าใบมะกรูดก่อนการทดลองเท่ากับ 20 กรัม เมื่อเวลาผ่านไป 10 วัน พบว่าน้ำหนักสดที่เพิ่มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยหญ้าใบมะกรูดที่เลี้ยงในแหล่งไนเตรท-ไนโตรเจนที่อัตราส่วนของไนโตรเจนรวม : ฟอสฟอรัสรวมเท่ากับ 12:1 มีน้ำหนักสดเพิ่มขึ้นเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 19.93 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักเพิ่มขึ้นจากน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 3.99 กรัม รองลงมาคือหญ้าใบมะกรูดที่เลี้ยงในน้ำทะเลตามธรรมชาติ, ในแหล่งแอมโมเนีย-ไนโตรเจน

เท่ากับ 12:1 และแหล่งไนเตรท-ไนโตรเจนเท่ากับ 8:1 ตามลำดับ นอกจากนั้นมีน้ำหนักลดลงโดยหญ้าใบมะกรูดที่เลี้ยงในแหล่งแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ที่อัตราส่วนของไนโตรเจนรวม : ฟอสฟอรัสรวมเท่ากับ 4:1 มีน้ำหนักสดลดลงเฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ 30.35 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักลดลงจากน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 6.07 กรัม (ภาพที่ 9 และตารางภาคผนวกที่ 21) และพบว่าอัตราส่วนของไนโตรเจนรวม : ฟอสฟอรัสรวมและแหล่งไนโตรเจน มีอิทธิพลต่อน้ำหนักสดของหญ้าใบมะกรูด ($p<0.05$) แต่ไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างระดับอัตราส่วนของไนโตรเจนรวม : ฟอสฟอรัสรวม และแหล่งไนโตรเจน ($p>0.05$) ต่อน้ำหนักสดของหญ้าใบมะกรูด (ตารางภาคผนวกที่ 26)

จำนวนใบของหญ้าใบมะกรูดก่อนการทดลองเท่ากับ 150 ใบ เมื่อเวลาผ่านไป 10 วัน พบว่าจำนวนใบที่เพิ่มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยหญ้าใบมะกรูดที่เลี้ยงในแหล่งไนเตรท-ไนโตรเจนที่อัตราส่วนของไนโตรเจนรวม : ฟอสฟอรัสรวมเท่ากับ 12:1 มีจำนวนใบเพิ่มขึ้นเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 6.00 เปอร์เซ็นต์ จำนวนใบเพิ่มขึ้นจากจำนวนใบเริ่มต้นเฉลี่ย 9.00 ใบ รองลงมาคือหญ้าใบมะกรูดที่เลี้ยงน้ำทะเลตามธรรมชาติและแหล่งไนเตรท-ไนโตรเจนเท่ากับ 8:1 ตามลำดับ นอกจากนั้นมีจำนวนใบลดลงโดยหญ้าใบมะกรูดที่เลี้ยงในแหล่งแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ที่อัตราส่วนของไนโตรเจนรวม : ฟอสฟอรัสรวมเท่ากับ 4:1 มีจำนวนใบลดลงเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 37.78 เปอร์เซ็นต์ จำนวนใบลดลงจากจำนวนใบเริ่มต้นเฉลี่ย 56.67 ใบ (ภาพที่ 10 และตารางภาคผนวกที่ 21) และพบว่าอัตราส่วนของไนโตรเจนรวม : ฟอสฟอรัสรวมและแหล่งไนโตรเจน มีอิทธิพลต่อจำนวนใบของหญ้าใบมะกรูด ($p<0.05$) และมีอิทธิพลร่วมระหว่างระดับอัตราส่วนของไนโตรเจนรวม : ฟอสฟอรัสรวม และแหล่งไนโตรเจน ($p<0.05$) จำนวนใบของหญ้าใบมะกรูด (ตารางภาคผนวกที่ 27)



ภาพที่ 9 น้ำหนักสดที่เปลี่ยนแปลงของหญ้าใบมะกรูดที่เลี้ยงในน้ำทะเลซึ่งมีอัตราส่วนของไนโตรเจนรวม : ฟอสฟอรัสรวม 3 ระดับ และแหล่งไนโตรเจน 2 แหล่ง เทียบกับน้ำทะเลเป็นระยะเวลา 10 วัน (ค่าเฉลี่ย $\pm$ ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)



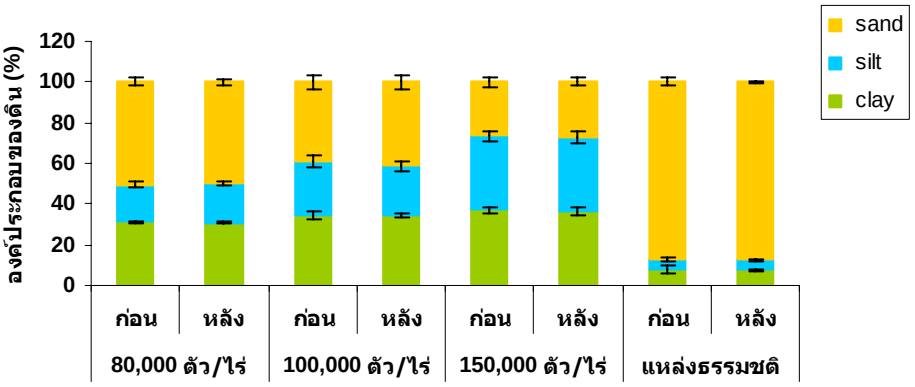
ภาพที่ 10 จำนวนใบที่เปลี่ยนแปลงของหญ้าใบมะกรูดที่เลี้ยงในน้ำทะเลซึ่งมีอัตราส่วนของไนโตรเจนรวม : ฟอสฟอรัสรวม 3 ระดับ และแหล่งไนโตรเจน 2 แหล่ง เทียบกับน้ำทะเลเป็นระยะเวลา 10 วัน (ค่าเฉลี่ย ± ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)

3.2 การเลี้ยงหญ้าใบมะกรูดด้วยดินและน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่มีอัตราการปล่อยแตกต่างกัน

3.2.1 ชนิดของดินจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของหญ้าใบมะกรูด

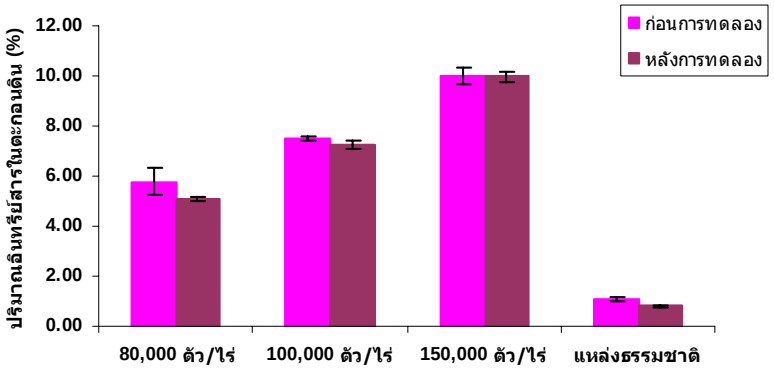
3.2.1.1 องค์ประกอบและชนิดของดินจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว

ดินแต่ละแหล่งมีองค์ประกอบของดินแตกต่างกัน ($p<0.05$) โดยดินที่มีอัตราการปล่อยกุ้งขาว 100,000 ตัว/ไร่ เป็นดินโคลนซึ่งมี Clay, Sand และ Silt ก่อนการทดลองเท่ากับ 34.22, 26.49 และ 39.29 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดินที่มีอัตราการปล่อยกุ้งขาว 150,000 เป็นดินโคลนซึ่งมี Clay, Sand และ Silt ก่อนการทดลองเท่ากับ 37.15, 36.34 และ 26.51 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และดินที่มีอัตราการปล่อยกุ้งขาว 80,000 ตัว/ไร่ เป็นดินโคลนปนทรายซึ่งมี Clay, Sand และ Silt ก่อนการทดลองเท่ากับ 30.99, 18.54 และ 50.47 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และดินจากแหล่งที่เก็บหญ้าใบมะกรูดเป็นดินทรายซึ่งมี Clay, Sand และ Silt ก่อนการทดลองเท่ากับ 8.30, 4.34 และ 87.36 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเวลาผ่านไป 10 วัน พบว่าองค์ประกอบของดินแต่ละแหล่งมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยและชนิดของดินยังคงเป็นชนิดเดิม (ภาพที่ 11 และตารางภาคผนวกที่ 22)



ภาพที่ 11 องค์ประกอบของดินจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่มีอัตราการปล่อยกุ้งขาว 80,000, 100,000, 150,000 ตัว/ไร่ และดินจากแหล่งที่เก็บหญ้าใบมะกรูดก่อนการทดลองและเมื่อเวลาผ่านไป 10 วัน (ค่าเฉลี่ย ± ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)

ปริมาณอินทรีย์สารในตะกอนดินแต่ละแหล่งมีความแตกต่างกัน ($p<0.05$) โดยดินจากบ่อที่มีอัตราการปล่อยกุ้งขาว 80,000, 100,000, 150,000 ตัว/ไร่ และดินจากแหล่งที่เก็บหญ้าใบมะกรูดมีปริมาณอินทรีย์สารก่อนการทดลองเท่ากับ 5.79, 7.47, 10.00 และ 1.08 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมื่อเวลาผ่านไป 10 วัน พบว่าปริมาณอินทรีย์สารลดลงเล็กน้อยเท่ากับ 5.07, 7.27, 9.98 และ 0.80เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยปริมาณอินทรีย์สารในตะกอนดินจากบ่อที่มีอัตราการปล่อยกุ้งขาว 80,000 ลดลงมากที่สุด รองลงมาคือปริมาณอินทรีย์สารในตะกอนดินจากแหล่งที่เก็บหญ้าใบมะกรูด, จากบ่อที่มีอัตราการปล่อยกุ้งขาว 1000,000 และ 150,000 ตัว/ไร่ ตามลำดับ (ภาพที่ 12 และตารางภาคผนวกที่ 22)

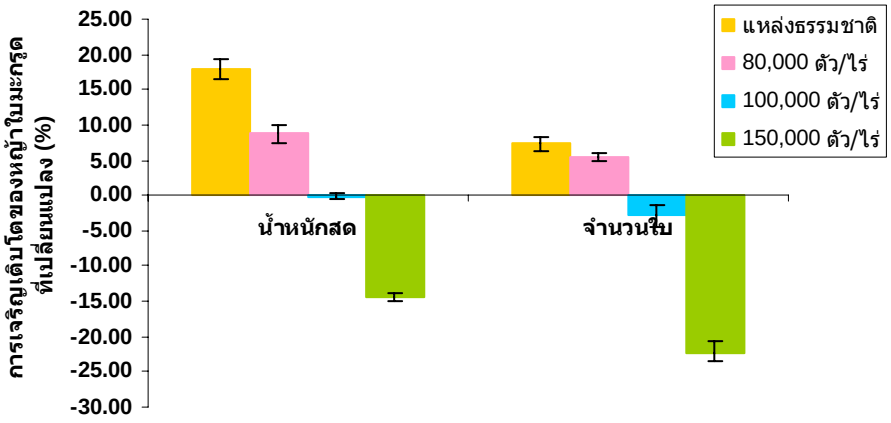


ภาพที่ 12 ปริมาณอินทรีย์สารในตะกอนดินจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่มีอัตราการปล่อยกุ้งขาว 80,000, 100,000, 150,000 ตัว/ไร่ และดินจากแหล่งที่เก็บหญ้าใบมะกรูดก่อนการทดลองและเมื่อเวลาผ่านไป 10 วัน (ค่าเฉลี่ย ± ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)

3.2.1.2 การเจริญเติบโตของหญ้าใบมะกรูด

น้ำหนักสดของหญ้าใบมะกรูดก่อนการทดลองเท่ากับ 20 กรัม เมื่อเวลาผ่านไป 10 วัน พบว่าน้ำหนักสดที่เพิ่มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยหญ้าใบมะกรูดที่ปลูกในดินที่มีอัตราการปล่อยกุ้งขาว 80,000 ตัว/ไร่ มีน้ำหนักสดเพิ่มขึ้นเฉลี่ยเท่ากับ 8.77 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักเพิ่มขึ้นจากน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 1.75 กรัม ส่วนน้ำหนักของหญ้าใบมะกรูดที่ปลูกในดินตามธรรมชาติ (ชุดควบคุม) มีน้ำหนักสดเพิ่มขึ้นเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 17.97 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักเพิ่มขึ้นจากน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 3.59 กรัม และหญ้าใบมะกรูดที่ปลูกในดินที่มีอัตราการปล่อยกุ้งขาว 150,000 ตัว/ไร่ มีน้ำหนักสดลดลงเฉลี่ยเท่ากับ 14.27 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักลดลงจากน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 2.85 กรัม (ภาพที่ 13 และตารางภาคผนวกที่ 23)

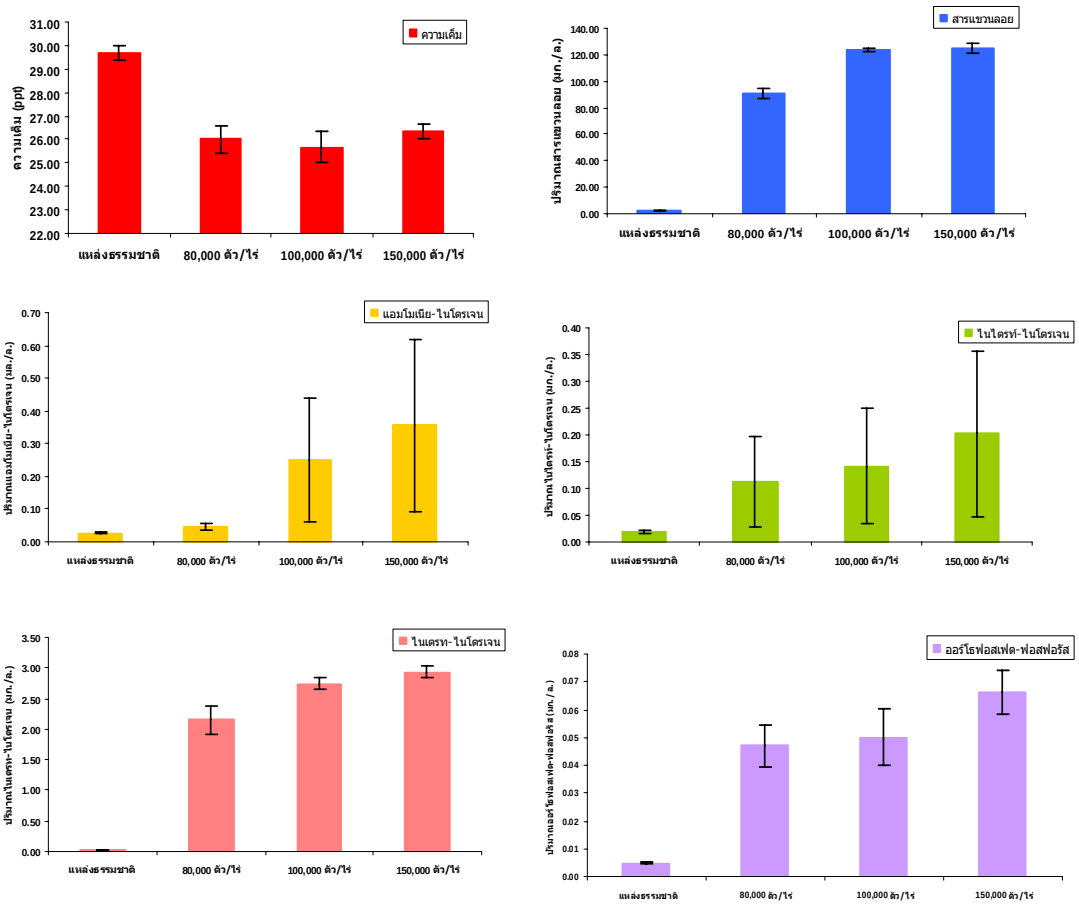
จำนวนใบของหญ้าใบมะกรูดก่อนการทดลองเท่ากับ 150 ใบ เมื่อเวลาผ่านไป 10 วัน พบว่าจำนวนใบที่เพิ่มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยหญ้าใบมะกรูดที่ปลูกในดินที่มีอัตราการปล่อยกุ้งขาว 80,000 ตัว/ไร่ มีจำนวนใบเพิ่มขึ้นเฉลี่ยเท่ากับ 5.56 เปอร์เซ็นต์ โดยจำนวนใบเพิ่มขึ้นจากจำนวนใบเริ่มต้นเฉลี่ย 8.33 ใบ ส่วนจำนวนใบของหญ้าใบมะกรูดที่ปลูกในดินตามธรรมชาติ (ชุดควบคุม) มีจำนวนใบเพิ่มขึ้นเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 7.33 เปอร์เซ็นต์ โดยจำนวนใบเพิ่มขึ้นจากจำนวนใบเริ่มต้นเฉลี่ย 11.00 ใบ และหญ้าใบมะกรูดที่ปลูกในดินที่มีอัตราการปล่อยกุ้งขาว 150,000 ตัว/ไร่ มีจำนวนใบลดลงเฉลี่ยเท่ากับ 22.22 เปอร์เซ็นต์ จำนวนใบลดลงจากจำนวนใบเริ่มต้นเฉลี่ย 33.33 ใบ (ภาพที่ 13 และตารางภาคผนวกที่ 23)



ภาพที่ 13 การเจริญเติบโตของหญ้าใบมะกรูดที่ปลูกในดินจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่มีอัตราการปล่อยกุ้งขาว 80,000, 100,000, 150,000 ตัว/ไร่ และดินจากแหล่งที่เก็บหญ้าใบมะกรูดเมื่อเวลาผ่านไป 10 วัน (ค่าเฉลี่ย $\pm$ ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)

3.2. 2 คุณภาพน้ำที่ใช้เลี้ยงหญ้าใบมะกรูด

คุณภาพน้ำจากแหล่งเก็บหญ้าใบมะกรูดและน้ำจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวก่อนทดลอง พบว่าคุณภาพน้ำแต่ละแหล่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยความเค็มในชุดควบคุมมีความเค็มสูงสุดเท่ากับ 29.67 ส่วนในพัน และปริมาณสารแขวนลอย, ไนเตรท-ไนโตรเจน และออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส ในน้ำจากบ่อเลี้ยงกุ้ง 150,000 ตัว/ไร่ มีปริมาณสูงสุดเท่ากับ 124.66, 2.93 และ 0.07 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ โดยน้ำในชุดควบคุมมีปริมาณสารแขวนลอย, ไนเตรท-ไนโตรเจน และออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสต่ำสุดเท่ากับ 2.65, 0.02 และ 0.00 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ส่วนปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนและไนไตรท์-ไนโตรเจนแต่ละแหล่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) (ภาพที่ 14 และตารางภาคผนวกที่ 24)

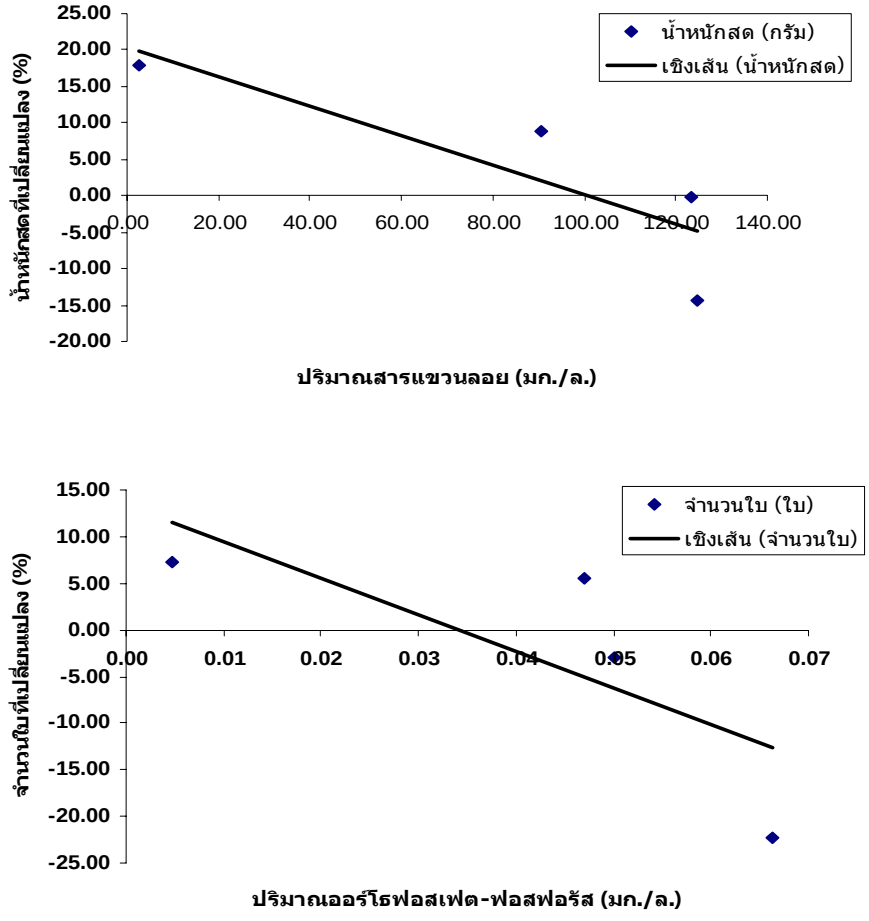


ภาพที่ 14 คุณภาพน้ำจากแหล่งเก็บหญ้าทะเลและน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่มีอัตราการปล่อยกุ้งขาว 80,000, 100,000 และ 150,000 ตัว/ไร่ ซึ่งตรวจวัดก่อนใช้เลี้ยงหญ้าใบมะกรูด (ค่าเฉลี่ย $\pm$ ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)

ความสัมพันธ์ของคุณภาพน้ำ ได้แก่ ความเค็ม, สารแขวนลอย, แอมโมเนีย-ไนโตรเจน, ไนเตรท-ไนโตรเจน และออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส ต่อการเจริญเติบโตของหญ้าใบมะกรูด โดยวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณใช้วิธีแบบ Stepwise ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อน้ำหนักสดที่เพิ่มขึ้นของหญ้าใบมะกรูดมากที่สุด คือ ปริมาณสารแขวนลอย โดยน้ำหนักสดของหญ้าใบมะกรูดจะเพิ่มขึ้นเมื่อเลี้ยงในน้ำที่มีปริมาณสารแขวนลอยน้อย และปัจจัยที่มีผลต่อจำนวนใบที่เพิ่มขึ้นของหญ้าใบมะกรูดมากที่สุด คือ ปริมาณออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส โดยจำนวนใบของหญ้าใบมะกรูดจะเพิ่มขึ้นเมื่อเลี้ยงในน้ำที่มีปริมาณออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสน้อย (ภาพที่ 15) โดยมีสมการความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

น้ำหนักสดที่เพิ่มขึ้นของหญ้าใบมะกรูด = 20.28 - 0.20 suspended solids

จำนวนใบที่เพิ่มขึ้นของหญ้าใบมะกรูด = 11.23 - 340.24 orthophosphate-phosphorus



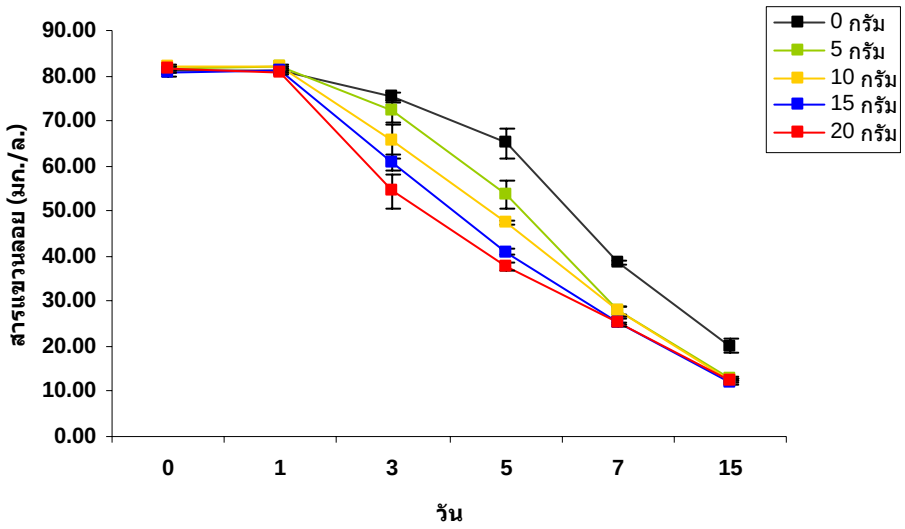
ภาพที่ 15 เส้นแนวโน้มน้ำหนักสดและจำนวนใบที่เปลี่ยนแปลงไปของหญ้าใบมะกรูดที่เลี้ยงในน้ำจากแหล่งเก็บหญ้าทะเลและ น้ำจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว

3.3 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวของหญ้าใบมะกรูดที่ความหนาแน่นต่างๆ

น้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวด้วยความหนาแน่น 80,000 ตัว/ไร่ ที่มีอายุการเลี้ยง 108 วัน ความเค็ม 27 ส่วนในพัน ก่อนเริ่มการทดลองมีปริมาณสารแขวนลอย, ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ, แอมโมเนีย-ไนโตรเจน, ไนเตรท-ไนโตรเจน, ไนไตรท์-ไนโตรเจน และออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส เฉลี่ยเท่ากับ 81.40, 8.14, 0.07, 2.44, 0.04 และ 0.06 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ

3.3.1 สารแขวนลอย

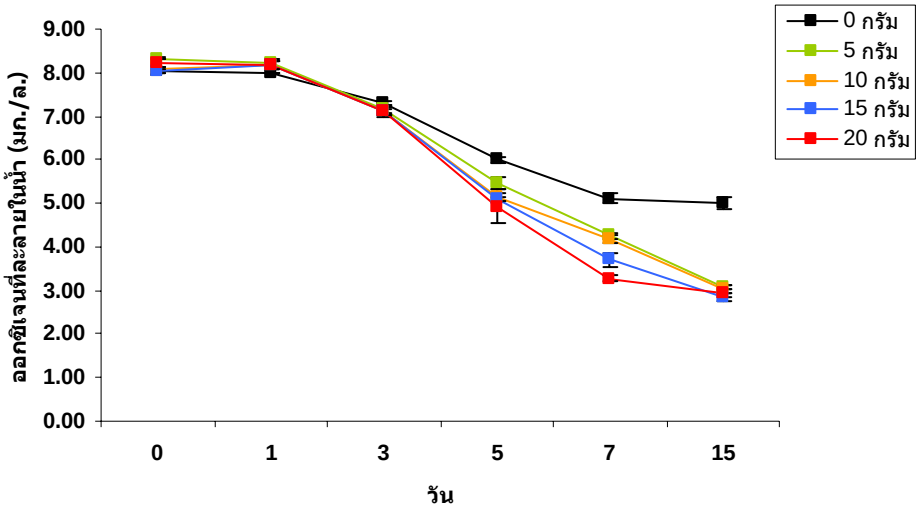
พบว่าปริมาณสารแขวนลอยในน้ำที่ใช้เลี้ยงหญ้าใบมะกรูดด้วยความหนาแน่น 20 กรัม/ลิตร มีค่าต่ำสุดและอยู่ในช่วง 12.48-81.41 เฉลี่ยเท่ากับ 46.95 มิลลิกรัม/ลิตร รองลงมาได้แก่ที่ความหนาแน่น 15, 10 และ 5 กรัม/ลิตร ตามลำดับ และปริมาณสารแขวนลอยในน้ำที่ใช้เลี้ยงหญ้าใบมะกรูดด้วยความหนาแน่น 0 กรัม/ลิตร มีค่าสูงสุดอยู่ในช่วง 20.00-81.01 เฉลี่ยเท่ากับ 50.51 มิลลิกรัม/ลิตร โดยในระหว่างวันที่ 1-5 พบว่า น้ำที่ใช้เลี้ยงหญ้าใบมะกรูดในทุกความหนาแน่นมีปริมาณสารแขวนลอยลดลง แต่เมื่อเวลาผ่านไปปริมาณสารแขวนลอยของน้ำมีค่าใกล้เคียงกันในทุกความหนาแน่น (ภาพที่ 16)



ภาพที่ 16 ปริมาณสารแขวนลอยในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวที่ใช้เลี้ยงหญ้าใบมะกรูดด้วยความหนาแน่น 0, 5, 10, 15 และ 20 กรัม/ลิตร เป็นเวลา 15 วัน (ค่าเฉลี่ย $\pm$ ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)

3.3.2 ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ

พบว่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำที่ใช้เลี้ยงหญ้าใบมะกรูดด้วยความหนาแน่น 20 กรัม/ลิตร มีค่าต่ำสุดและอยู่ในช่วง 2.93-8.23 เฉลี่ยเท่ากับ 5.58 มิลลิกรัม/ลิตร รองลงมาได้แก่ที่ความหนาแน่น 15, 10 และ 5 กรัม/ลิตร ตามลำดับ และออกซิเจนที่ละลายในน้ำชุดควบคุม (ไม่มีหญ้าใบมะกรูด) มีค่าสูงสุดอยู่ในช่วง 5.60-8.04 เฉลี่ยเท่ากับ 6.82 มิลลิกรัม/ลิตร โดยในระหว่างวันที่ 1-3 พบว่าน้ำที่ใช้เลี้ยงหญ้าใบมะกรูดในทุกความหนาแน่นมีค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำสูง แต่หลังจากวันที่ 3 ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำลดลงอย่างรวดเร็ว (ภาพที่ 17)

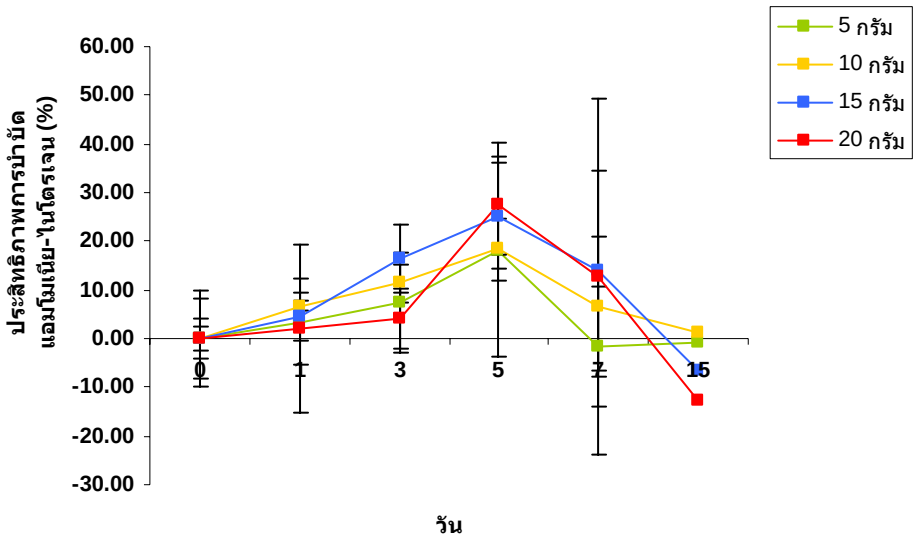


ภาพที่ 17 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวที่ใช้เลี้ยงหญ้าใบมะกรูดด้วยความหนาแน่น 0, 5, 10, 15 และ 20 กรัม/ลิตร เป็นเวลา 15 วัน (ค่าเฉลี่ย $\pm$ ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)

3.3.3 แอมโมเนีย-ไนโตรเจน

พบว่าทุกความหนาแน่นของหญ้าใบมะกรูดมีประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวในแต่ละวันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) และระยะเวลาในการบำบัดก็มีประสิทธิภาพไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) เช่นกัน ประสิทธิภาพในการบำบัดทุกความหนาแน่นค่อยๆเพิ่มขึ้นจนสูงสุดในวันที่ 5 โดยในวันที่ 5 หญ้าใบมะกรูดที่มีความหนาแน่น 20 กรัม/ลิตร มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุด โดยสามารถบำบัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจนได้ 27.38 เปอร์เซ็นต์ และความหนาแน่น 5 กรัม/ลิตร มีประสิทธิภาพในการ

บำบัดต่ำสุดเท่ากับ 18.13 เปอร์เซ็นต์ หลังจากนั้นประสิทธิภาพจะลดลงโดยในวันที่ 15 หญ้าใบมะกรูดที่มีความหนาแน่น 20 กรัม/ลิตร มีประสิทธิภาพในการบำบัดต่ำสุดเท่ากับ -17.02 เปอร์เซ็นต์ และความหนาแน่น 10 กรัม/ลิตร มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุดเท่ากับ 5.55 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 18 และตารางภาคผนวกที่ 25) และพบว่าความผันแปรร่วมระหว่างระยะเวลาในการบำบัดกับความหนาแน่นของหญ้าใบมะกรูดไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจนอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) (ตารางภาคผนวกที่ 28)

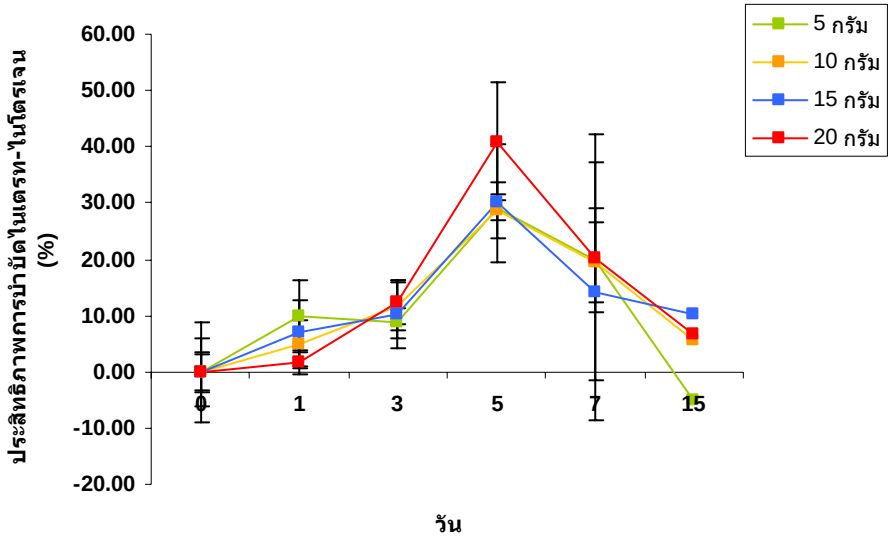


ภาพที่ 18 ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวที่ใช้เลี้ยงหญ้าใบมะกรูดด้วยความหนาแน่น 5, 10, 15 และ 20 กรัม/ลิตร เป็นเวลา 15 วัน (ค่าเฉลี่ย $\pm$ ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)

3.3.4 ไนเตรท-ไนโตรเจน

พบว่าหญ้าใบมะกรูดที่มีความหนาแน่น 5 และ 10 กรัม/ลิตร มีประสิทธิภาพในการบำบัดไนเตรท-ไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวในแต่ละวันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ส่วนระยะเวลาในการบำบัดมีประสิทธิภาพไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ประสิทธิภาพในการบำบัดทุกความหนาแน่นค่อยๆเพิ่มขึ้นจนสูงสุดในวันที่ 5 โดยในวันที่ 5 หญ้าใบมะกรูดที่มีความหนาแน่น 20 กรัม/ลิตร มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุด สามารถบำบัดไนเตรท-ไนโตรเจนได้ 40.92 เปอร์เซ็นต์ และความหนาแน่น 10 กรัม/ลิตร มีประสิทธิภาพในการ

บำบัดต่ำสุดเท่ากับ 28.63 เปอร์เซ็นต์ หลังจากนั้นประสิทธิภาพจะลดลงโดยในวันที่ 15 หญ้าใบมะกรูดที่มีความหนาแน่น 5 กรัม/ลิตร มีประสิทธิภาพในการบำบัดต่ำสุดเท่ากับ -5.23 เปอร์เซ็นต์ และความหนาแน่น 15 กรัม/ลิตร มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุดเท่ากับ 10.27 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 19 และตารางภาคผนวกที่ 25) และพบว่าความผันแปรร่วมระหว่างระยะเวลาในการบำบัดกับความหนาแน่นของหญ้าใบมะกรูดไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดไนเตรท-ไนโตรเจนอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) (ตารางภาคผนวกที่ 29)

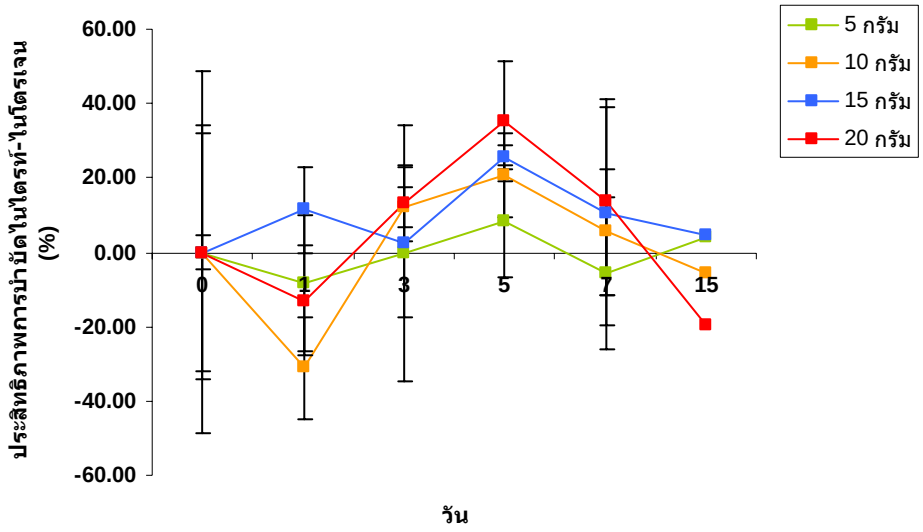


ภาพที่ 19 ประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรท-ไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวที่ใช้เลี้ยงหญ้าใบมะกรูดด้วยความหนาแน่น 5, 10, 15 และ 20 กรัม/ลิตร เป็นเวลา 15 วัน
(ค่าเฉลี่ย $\pm$ ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)

3.3.5 ไนไตรท์-ไนโตรเจน

พบว่าทุกความหนาแน่นของหญ้าใบมะกรูดมีประสิทธิภาพในการบำบัดไนไตรท์-ไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) และระยะเวลาในการบำบัดมีประสิทธิภาพไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ประสิทธิภาพในการบำบัดทุกความหนาแน่นค่อยๆเพิ่มขึ้นจนสูงสุดในวันที่ 5 โดยในวันที่ 5 หญ้าใบมะกรูดที่มีความหนาแน่น 20 กรัม/ลิตร มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุด สามารถบำบัดไนไตรท์-ไนโตรเจนได้ 35.26 เปอร์เซ็นต์ และความหนาแน่น 5 กรัม/ลิตร มีประสิทธิภาพในการบำบัดต่ำสุดเท่ากับ 8.27 เปอร์เซ็นต์ หลังจากนั้นประสิทธิภาพจะลดลง โดยในวันที่ 15 หญ้าใบมะกรูดที่มีความหนาแน่น 20 กรัม/ลิตร มีประสิทธิภาพในการบำบัดต่ำสุดเท่ากับ -19.68 เปอร์เซ็นต์ และความหนาแน่น 15 กรัม/ลิตร มีประสิทธิภาพในการ

บำบัดสูงสุดเท่ากับ 4.38 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 20 และตารางภาคผนวกที่ 25) และพบว่าความผันแปรร่วมระหว่างระยะเวลาในการบำบัดกับความหนาแน่นของหญ้าใบมะกรูดไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดไนไตรท์-ไนโตรเจนอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) (ตารางภาคผนวกที่ 30)

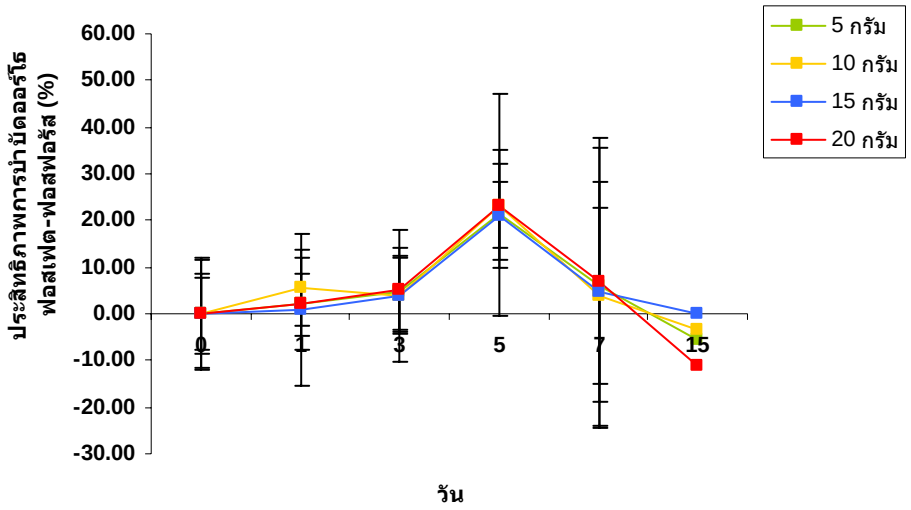


ภาพที่ 20 ประสิทธิภาพการบำบัดไนไตรท์-ไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวที่ใช้เลี้ยงหญ้าใบมะกรูดด้วยความหนาแน่น 5, 10, 15 และ 20 กรัม/ลิตร เป็นเวลา 15 วัน
(ค่าเฉลี่ย $\pm$ ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)

3.3.6 ออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส

พบว่าทุกความหนาแน่นของหญ้าใบมะกรูดมีประสิทธิภาพในการบำบัดออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) และระยะเวลาในการบำบัดมีประสิทธิภาพไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ประสิทธิภาพในการบำบัดทุกความหนาแน่นค่อยๆเพิ่มขึ้นจนสูงสุดในวันที่ 5 โดยในวันที่ 5 หญ้าใบมะกรูดที่มีความหนาแน่น 20 กรัม/ลิตร มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุด สามารถบำบัดออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสได้ 23.33 เปอร์เซ็นต์ และความหนาแน่น 15 กรัม/ลิตร มีประสิทธิภาพในการบำบัดต่ำสุดเท่ากับ 21.11 เปอร์เซ็นต์ หลังจากนั้นประสิทธิภาพจะลดลงโดยในวันที่ 15 หญ้าใบมะกรูดที่มีความหนาแน่น 20 กรัม/ลิตร มีประสิทธิภาพในการบำบัดต่ำสุดเท่ากับ -11.08 เปอร์เซ็นต์ และความหนาแน่น 15 กรัม/ลิตร มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุดเท่ากับ 0.06 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 21 และตารางภาคผนวกที่ 25) และพบว่าความผันแปรร่วมระหว่างระยะเวลาในการบำบัดกับความหนาแน่นของหญ้าใบมะกรูดไม่มี

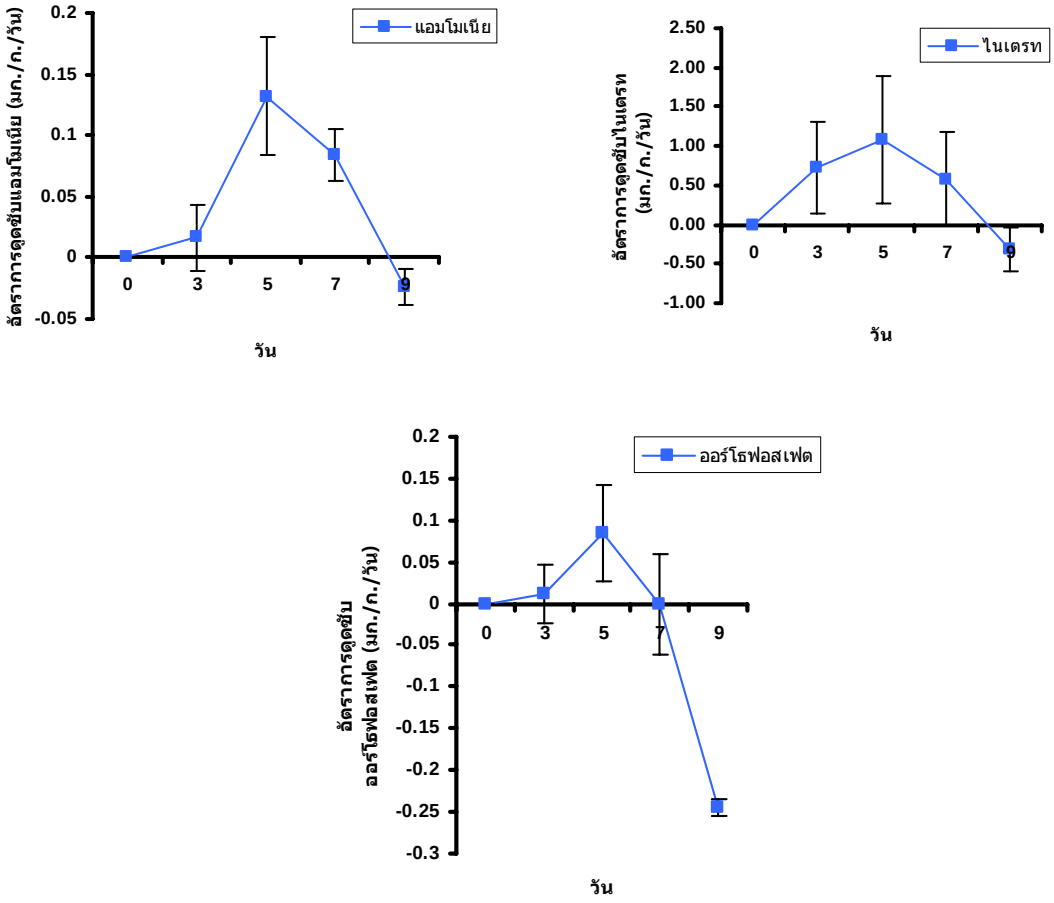
ผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส อย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) (ตารางภาคผนวกที่ 31)



ภาพที่ 21 ประสิทธิภาพการบำบัดออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวที่ใช้เลี้ยงหญ้าใบมะกรูดด้วยความหนาแน่น 5, 10, 15 และ 20 กรัม/ลิตร เป็นเวลา 15 วัน (ค่าเฉลี่ย $\pm$ ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)

3.4 อัตราการดูดซับธาตุอาหารในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวของหญ้าใบมะกรูด

อัตราการดูดซับธาตุอาหารในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวด้วยความหนาแน่น 80,000 ตัว/ไร่ ที่มีอายุการเลี้ยง 108 วัน ความเค็ม 27 ส่วนในพัน โดยใช้หญ้าใบมะกรูดความหนาแน่น 20 กรัม/ลิตร พบว่าหญ้าใบมะกรูดมีอัตราการดูดซับธาตุอาหาร (แอมโมเนีย-ไนโตรเจน, ไนเตรท-ไนโตรเจน และออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส) ในน้ำทิ้งได้ดีในช่วง 3-5 วันแรก แล้วอัตราการดูดซับธาตุอาหารจะลดลงในวันถัดมา โดยมีอัตราการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนสูงสุดเท่ากับ 0.13 มิลลิกรัม/กรัม/วัน มีอัตราการดูดซับไนเตรท-ไนโตรเจนสูงสุดเท่ากับ 1.08 มิลลิกรัม/กรัม/วัน และมีอัตราการดูดซับออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส สูงสุดเท่ากับ 0.08 มิลลิกรัม/กรัม/วัน (ภาพที่ 22)



ภาพที่ 22 อัตราการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจน, ไนเตรท-ไนโตรเจน และออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวโดยหญ้าใบมะกรูดที่ความหนาแน่น 20 กรัม/ลิตร ในระยะเวลา 9 วัน (ค่าเฉลี่ย $\pm$ ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)

บทที่ 4

วิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 สภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของหญ้าใบมะกรูด

4.1.1 ระดับความเค็มที่เหมาะสม

ความเค็มเป็นสภาวะแวดล้อมที่มีผลต่อการแพร่กระจายและการเจริญเติบโตของหญ้าใบมะกรูด (*Halophila ovalis*) (Hillman *et al*., 1995) หญ้าใบมะกรูดสามารถเจริญเติบโตและพบได้ในความเค็ม 15-40 ส่วนในพัน (Twilley and Barko, 1990) จากการทดลองพบว่า การเจริญเติบโตของหญ้าใบมะกรูด (น้ำหนักสด และจำนวนใบที่เพิ่มขึ้น) ที่เลี้ยงด้วยความเค็มต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยหญ้าใบมะกรูดที่เลี้ยงในระดับความเค็ม 15 และ 20 ส่วนในพัน ใบเริ่มร่วงเมื่อดำเนินการไป 10 วัน และในความเค็มระหว่าง 25-35 ส่วนในพัน หญ้าใบมะกรูดสามารถเจริญเติบโตได้และดีที่สุดในความเค็ม 30 ส่วนในพัน โดยเห็นได้จากน้ำหนักและจำนวนใบที่เพิ่มขึ้น ตรงกับการรายงานของ Tyerman (1982); Hillman (1985) ว่าหญ้าทะเลส่วนใหญ่จะเจริญเติบโตได้ดีในความเค็มในน้ำทะเลตามธรรมชาติ (35 ส่วนในพัน) สอดคล้องกับ Benjamin และคณะ (1999) ซึ่งพบว่าหญ้าใบมะกรูดในแหล่งน้ำเค็มเจริญเติบโตได้ดีในความเค็ม 35 และ 25 ส่วนในพัน ตามลำดับ และเจริญเติบโตลดลงในความเค็มต่ำ (20 ส่วนในพัน) โดยเซลล์คลอโรพลาสต์จะบวมและมีจำนวนลดลง ส่วนหญ้าใบมะกรูดในแหล่งน้ำกร่อยเมื่อนำมาเลี้ยงในความเค็มที่สูงจะตายไป 75 เปอร์เซ็นต์ภายใน 3 สัปดาห์ โดยจำนวนใบจะลดลง โครงสร้างและรูปร่างของใบจะเปลี่ยน ใบจะหยิก เหง้าจะผอมลีบ และใบหลุดร่วงในที่สุด (Hillmam *et al*., 1995) หญ้าใบมะกรูดในแหล่งน้ำกร่อยจะเติบโตได้ในแหล่งน้ำที่มีความเค็มต่ำกว่า 10 ส่วนในพัน ซึ่งพีเอชจะมีผลต่อการเจริญเติบโตและสามารถโตได้ดีในน้ำที่มีความเป็นด่างสูง (Hillmam *et al*., 1995) ความเค็ม (Na^+, K^+ และ Cl^-) ยังมีผลต่อการดูดซับธาตุอาหารของหญ้าทะเลโดยหญ้าทะเลจะดูดซับไนเตรทได้ดีในน้ำที่มี Na^+ สูง (Touchette *et al*., 2007) สอดคล้องกับการทดลองครั้งนี้ซึ่งในความเค็ม 30 ส่วนในพัน หญ้าใบมะกรูดสามารถใช้ธาตุอาหารไปมากที่สุดโดยปริมาณไนโตรเจนรวมและฟอสฟอรัสรวมในความเค็ม 30 ส่วนในพัน ลดลงมากกว่าความเค็มอื่นๆ เมื่อสิ้นสุดการทดลอง

นอกจากนี้ความเค็ม 30 ส่วนในพัน ซึ่งเป็นความเค็มที่หญ้าใบมะกรูดสามารถเจริญเติบโตได้และดีที่สุดยังเป็นความเค็มที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่ง ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 7 (พ.ศ. 2537) ประเภทที่ 3 คือ คุณภาพน้ำเพื่อการอนุรักษ์แหล่งธรรมชาติอื่นๆ นอกจากแหล่งปะการัง โดยกำหนดค่าไว้ว่าต้องมีค่าระหว่าง 29-35 ส่วนในพัน สามารถเปลี่ยนแปลงได้แต่ไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ (สำนักงานคณะกรรมการนโยบายและการฟื้นฟูทะเลไทย และสำนักงานคณะกรรมการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2541) สอดคล้องกับการศึกษาของ Peter และ Robert (1997) ที่ศึกษาหญ้า *Thalassia hemprichii* ซึ่งเป็นหญ้าที่พบในแหล่งเดียวกันกับหญ้าใบมะกรูด โดยเลี้ยงในความเค็ม 6 และ 12 ส่วนในพัน พบว่า ใบเริ่มร่วง ยอดที่งอกใหม่เน่า และตายในระยะเวลา 10 วัน แต่สามารถโตได้ดีในความเค็ม 35 ส่วนในพัน นอกจากนี้ Poovachiranon (2000) ได้รายงานว่า หญ้าใบมะกรูดในชายฝั่งอันดามันแพร่กระจายได้ดีที่สุดในช่วงความเค็ม 30-35 ส่วนในพัน และแหล่งหญ้าทะเลจะเสื่อมโทรมลงในช่วงฤดูฝนที่มีความเค็มต่ำกว่า 25 ส่วนในพัน นอกจากนี้ความเค็มที่สูง (มากกว่า 35 ส่วนในพัน) ของพื้นที่น้ำขังเมื่อน้ำลดลงทำให้หญ้าทะเลสูญเสียน้ำซึ่งเป็นข้อจำกัดของการแพร่กระจายและการเจริญเติบโตของหญ้าทะเล (Hammerstrom *et al*., 2006)

จากการทดลองครั้งนี้จะเห็นได้ว่าในความเค็มที่น้ำหนักสดและจำนวนใบเพิ่มขึ้น (30, 35 และ 25 ส่วนในพัน) นั้นน้ำหนักสดและจำนวนใบจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งอาจเกิดจากการเติมน้ำกลั่นลงไปในชุดการทดลองเพื่อให้ความเค็มและปริมาณน้ำคงที่ตลอดการทดลอง ทำให้ปริมาณสารอาหาร (Adams and Bate, 1994; Edwards, 1995) และปริมาณไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) ในน้ำเจือจาง นอกจากนี้ปริมาณคาร์บอน (CO_2) ในน้ำอาจจะไม่เพียงพอ ซึ่งไบคาร์บอเนตและคาร์บอนเป็นปัจจัยในการเจริญเติบโตของหญ้าทะเล (Dawes and McIntosh, 1981) และการเปลี่ยนแปลงของความเค็มจะส่งผลต่อแรงดันออสโมติกและแรงดันอิออนซึ่งจะเป็นตัวกำหนดการเปลี่ยนแปลงในทางเคมีโดยอาศัยแสง (photosynthetic) ของหญ้าใบมะกรูด (Ralph, 1998)

4.1.2 อัตราส่วนของไนโตรเจนรวม : ฟอสฟอรัสรวม และแหล่งของปุ๋ยไนโตรเจนที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของหญ้าใบมะกรูด

ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่รากพืชดูดไปใช้ในรูปไนเตรทและแอมโมเนียมไอออนสำหรับยูเรียแม้ว่าพืชจะดูดไปใช้ได้โดยตรงแต่สารนี้มีอยู่ในธรรมชาติน้อย (ยงยุทธ, 2543) จากการทดลองพบว่า หญ้าใบมะกรูดที่เลี้ยงด้วยน้ำทะเลที่มีความเค็ม 30 ส่วนในพัน และเติมปุ๋ยที่มีอัตราส่วนของไนโตรเจนรวม : ฟอสฟอรัสรวม ที่ 12:1 โดยมีแหล่งไนโตรเจนจากปุ๋ยไนเตรท (KNO_3) มีการ

เจริญเติบโตดีที่สุด (น้ำหนักสด และจำนวนใบที่เพิ่มขึ้น) แตกต่างจากที่เลี้ยงในน้ำทะเลที่เติมปุ๋ยไนเตรทที่อัตราส่วน 8:1, 4:1 หรือที่เติมปุ๋ยแอมโมเนีย (NH_4Cl) เนื่องจากหญ้าใบมะกรูดเป็นหญ้าที่อาศัยอยู่ในน้ำทะเลซึ่งน้ำจะมีสภาพความเป็นด่าง และพืชที่อยู่ในดินด่างจัดหรือในน้ำที่เป็นด่างซึ่งมีพีเอชสูง พืชพวกนี้พอใจเลือกไนเตรทมากกกว่าแอมโมเนีย (ยงยุทธ, 2543) จากการสังเกตพบว่า หญ้าใบมะกรูดที่เลี้ยงด้วยน้ำทะเลที่มีความเข้มข้นของแอมโมเนียสูงจะทำให้หญ้าทะเลมีการเจริญเติบโตไม่ดีและมีการตาย โดยแอมโมเนียที่มีมากและพืชดูดใช้ไปมากจะมีผลข้างเคียงต่อพืชเช่น แอมโมเนียที่มีมากก่อให้เกิดภาวะปฏิปักษ์ในการดูดแคตไอออนอื่น ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่อาจทำให้พืชดูดแคลเซียมและแมกนีเซียมได้น้อยลง และเมื่อมีแอมโมเนียในเซลล์มากก็ต้องการสารซึ่งเป็นโครงคาร์บอนมาทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียอาจทำให้คาร์โบไฮเดรตในรากลดลงเร็วเกินไป (ยงยุทธ, 2543) นอกจากนี้ยังพบ benthic algae เจริญเติบโตเกาะติดอยู่กับผนังตู้ได้ดีและรวดเร็วในชุดการทดลองที่มีความเข้มข้นของแอมโมเนียในน้ำสูง จากรายงานของ Touchette และ Burkholder (2000) ที่อ้างรายงานของ Harlin (1993); Thayer และคณะ(1984) และ Iizumi และคณะ (1982) ว่าการเจริญเติบโตของสังคมหญ้าทะเลในธรรมชาตินั้นมักพบว่ามีการแข่งขันกันใช้ธาตุอาหารไนโตรเจนกับสังคมพืชอื่นๆ เช่น พวกสาหร่ายขนาดเล็ก และสาหร่ายขนาดเล็กก็มีความสามารถใช้แอมโมเนีย-ไนโตรเจนได้ดีกว่า ในการเลี้ยงหญ้าทะเลในตู้พรรณไม้น้ำไม่นิยมใช้แหล่งไนโตรเจนจากแอมโมเนียเพราะจะทำให้เกิดตะไคร่น้ำและสาหร่ายขนาดเล็กเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว แต่จะนิยมใช้ปุ๋ยไนเตรทเป็นแหล่งไนโตรเจน เช่น KNO_3, $Ca(NO_3)_2$ และ $NaNO_3$ โดยไนเตรทที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของหญ้าทะเลและไม่เป็นอันตรายต่อแหล่งอาศัยของปลามีค่าความเข้มข้นอยู่ระหว่าง 0-5 มิลลิกรัม/ลิตร (Udy and Dennison, 1997) ในธรรมชาติปริมาณไนโตรเจนไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตเนื่องจากมีปริมาณที่เพียงพอและเหมาะสมกับหญ้าทะเลในแต่ละชนิด (Gerloff and Krombholz, 1966)

ส่วนฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่หญ้าทะเลจำเป็นต้องใช้ในการเจริญเติบโตแต่ต้องการในปริมาณที่น้อยกว่าไนโตรเจน ฟอสฟอรัสมีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทพลังงาน ซึ่งก็เป็นกระบวนการทางสรีรวิทยา เกี่ยวข้องกับการหายใจ การสังเคราะห์ด้วยแสง การขนส่งสารต่างๆ จากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งภายในต้นพืช การสะสมอาหารหรือการนำอาหารออกมาใช้ในการขยายเซลล์ การเพิ่มจำนวนเซลล์ รวมไปถึงการสืบพันธุ์ (ยงยุทธ, 2543) ฟอสฟอรัสเป็นปัจจัยจำกัดในการแพร่กระจายของหญ้าทะเลโดยเฉพาะในบริเวณดินตะกอนที่ประกอบไปด้วยปริมาณแคลเซียมจากเปลือกหอยในปริมาณสูงจึงมีปริมาณฟอสฟอรัสสูงทำให้ไม่พบหญ้าทะเลในบริเวณดังกล่าว เนื่องฟอสฟอรัส อนินทรีย์ที่ละลายในน้ำ มักจะจับตัวกันเป็นรูปฟอสเฟต หรือ PO_4^{3-} และ HPO_4^{2-} สามารถจับตัวกับ แคลเซียมอิออนในน้ำกับสารประกอบคาร์บอเนตทำให้เกิดตะกอนของ Hydroxyapatite หรือ $Ca(HPO_4)_2$ ที่ไม่ละลายน้ำอยู่ตามพื้นทะเล เมื่อ $Ca(HPO_4)_2$ หรือ

Hydroxyapatite เกิดการทับถมเป็นปริมาณมากแบคทีเรียที่ทำการย่อยสลายโดยไม่ใช้ออกซิเจนหรือ anaerobic จะเจริญเติบโตภายใต้การทับถม และทำให้ pH บริเวณนั้นต่ำลงสภาพแวดล้อมบริเวณนั้นจะเป็นกรดแรงไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของหญ้าทะเล (Erftemeijer *et al*., 1994)

การดูดซึมฟอสฟอรัสของหญ้าทะเลสามารถทำได้ดีทั้งจากทางใบและทางรากและเกิดบริเวณดินตะกอนตอนบน (Larkum and den Hartog,1989; Dawes,1998) ในการเพาะเลี้ยงหญ้าทะเลควรใช้ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสสูงกว่า 0.1 มิลลิกรัม/ลิตร แต่ไม่ควรเกิน 0.5 มิลลิกรัม/ลิตร เพราะจะทำให้สาหร่ายขนาดเล็กเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วและหญ้าทะเลหยุดการเจริญเติบโต (Fourqurean *et al*., 1992) จากการทดลองจะเห็นได้ว่าหญ้าใบมะกรูดที่เลี้ยงในปุ๋ยที่มีอัตราส่วนของไนโตรเจนรวม : ฟอสฟอรัสรวม ที่ 8:1 และ 4:1 เจริญเติบโตได้ไม่ดี ซึ่ง Udy และDennison (1997) รายงานว่าหญ้า *Halophila* sp. เติบโตได้ดีในน้ำที่มีความเค็ม 35 ส่วนในพัน และอัตราส่วนอนินทรีย์ไนโตรเจนที่ละลายน้ำ (DIN) : อนินทรีย์ฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำ (DIP) เท่ากับ 13:1 และ Petersen และคณะ (1997) รายงานว่าคุณภาพน้ำที่แหล่งหญ้าทะเลบริเวณชายฝั่งทางตอนใต้ของออสเตรเลียมีอัตราส่วนไนโตรเจนรวม : ฟอสฟอรัสรวมเฉลี่ย 15:1

จากผลการทดลองนี้จะเห็นว่าหญ้าใบมะกรูดมีลักษณะโตช้า ใบจะค่อยๆซีดเป็นเพราะคลอโรฟิลล์ลดลง ต้นแคระแกร็น ใบเล็ก ขนาดของเหง้าเล็กลง สีของใบค่อยๆเปลี่ยนไปโดยเริ่มมีสีม่วงตามแผ่นใบ ใบจะมีสีเขียวด้านๆ ต่อมาใบก็เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและร่วงหล่นง่าย ซึ่งเป็นอาการของพืชที่ขาดไนโตรเจนและฟอสฟอรัส (ยงยุทธ, 2543) การขาดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสอาจเป็นผลมาจากระยะเวลาในการเติมและปรับอัตราส่วนของไนโตรเจนรวม : ฟอสฟอรัสรวม (ทุก 5 วัน) ช้าเกินไป ในเวลาดังกล่าวหญ้าใบมะกรูดจึงใช้ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสไปมากจนอยู่ในสภาวะขาดแคลน นอกจากนี้อาจเป็นผลจากสภาวะแวดล้อมอื่น เช่น ความเข้มแสง หญ้าทะเลแต่ละแหล่งต้องการปริมาณแสงที่แตกต่างกัน (Björk *et al*., 2008) ซึ่งหญ้าทะเลส่วนใหญ่ต้องการความเข้มแสงระหว่าง 400-700 µmol photons/m^2/sec (Czerny and Dunton, 1995) Kenworthy และ Fonseca (1996) ได้ศึกษาความเข้มแสงที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของหญ้า *Halodule wrightii* และ *Syringodium filiforme* พบว่า หญ้าไม่เจริญเติบโตในความเข้มแสง 90 µmol photons/m^2/sec เจริญเติบโตช้าในความเข้มแสง 150 µmol photons/m^2/sec และเจริญเติบโตได้ดีในความเข้มแสง 280 µmol photons/m^2/sec หญ้า *Halophila decipiens* เจริญเติบโตได้ในความเข้มแสง 100 µmol photons/m^2/sec (Hammerstrom *et al*., 2006) ปริมาณแสงเปลี่ยนแปลงตามระดับความลึก โดยปกติหญ้าใบมะกรูดพบได้ในเขตน้ำตื้นที่มีความเข้มแสงสูงกว่า 1,200 µmol photons/m^2/sec (Erftemeijer *et al*., 1993) แต่ก็สามารถพบได้ในเขตลึก 15-30 เมตร ที่มีความเข้มแสง 33 µmol photons/m^2/sec (Erftemeijer and Stapel, 1999) ในประเทศไทยพบหญ้าใบมะกรูดได้บริเวณอุทยานแห่งชาติหาดเจ้าไหม จังหวัดตรัง ซึ่งมีความเข้มแสง

ประมาณ 25,000-50,00 lux และพบได้น้อยในช่วงฤดูฝน (<4,000 lux) (จากการสำรวจและเก็บตัวอย่างหญ้าทะเลในพื้นที่) ดังนั้นในการทดลองซึ่งใช้ความเข้มแสง 6,000 lux อาจไม่ใช่ความเข้มแสงที่เหมาะสมที่สุดต่อการเจริญเติบโตของหญ้าใบมะกรูด

นอกจากนี้มีก๊าซที่สำคัญสำหรับการเจริญเติบโตของพืชน้ำ 2 ชนิด คือ ออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ พืชน้ำต้องการออกซิเจนในการหายใจส่วนคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงเพื่อผลิตอาหาร ดังนั้นการเลี้ยงหญ้าทะเลในระบบปิดจึงจำเป็นต้องมีการให้คาร์บอนไดออกไซด์ลงไปในน้ำ Zimmermam และคณะ (1997) รายงานว่า *Zostera marina* จะมีปริมาณใบเพิ่มขึ้นเมื่อนำไปเลี้ยงในพื้นที่กว้างทำให้สามารถรับคาร์บอนไดออกไซด์ได้อย่างเต็มที่และหญ้าทะเลแต่ละชนิดต้องการปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อใช้ในการเจริญเติบโตแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มแสงและระยะเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง การเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำจะมีผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช และความกระด้างของน้ำ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เมื่อละลายในน้ำจะได้กรดคาร์บอนิกทำให้ค่าพีเอชลดลง พืชน้ำจะเจริญได้ดีในน้ำที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ค่อนข้างสูงประมาณ 5-15 มิลลิกรัม/ลิตร อย่างไรก็ตามก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิน 6 มิลลิกรัม/ลิตร อาจเป็นอันตรายต่อปลาและสัตว์น้ำ (คเชนทร, 2543)

4.2. การเลี้ยงหญ้าใบมะกรูดด้วยดินและน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว (*Penaeus vannamei*) ที่มีอัตราการปล่อยแตกต่างกัน

จากการทดลองปลูกหญ้าใบมะกรูดในน้ำที่ความเค็ม 30 ส่วนในพัน โดยใช้ดินจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่มีอัตราการปล่อยแตกต่างกัน พบว่าการเจริญเติบโตของหญ้าใบมะกรูด (น้ำหนักสดและจำนวนใบที่เพิ่มขึ้น) ที่ปลูกในดินที่มีอัตราการปล่อยกุ้งขาว 80,000 ตัว/ไร่ เจริญเติบโตได้ดีใกล้เคียงกับการเจริญเติบโตของหญ้าใบมะกรูดที่ปลูกในดินตามธรรมชาติ ซึ่งเจริญเติบโตดีที่สุดโดยดินที่มีอัตราการปล่อยกุ้งขาว 80,000 ตัว/ไร่ เป็นประเภทดินโคลนปนทราย มีองค์ประกอบของดินเป็น Clay, Silt และ Sand เท่ากับ 32.66, 18.45 และ 50.47 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยองค์ประกอบของดินส่วนใหญ่ยังเป็นทราย ซึ่งเป็นลักษณะดินที่หญ้าใบมะกรูดเจริญเติบโตตามธรรมชาติ จากรายงานของ Satumanatpan (2002) พบว่า สภาพของพื้นทะเลที่เอื้อต่อการเจริญเติบโตของหญ้าทะเลต้องเป็นพื้นที่ที่รากสามารถชอนไช เกาะยึดเม็ดดินเล็กๆได้ดี โดยทั่วไปจะเป็นบริเวณที่มีโคลนเลนปะปนอยู่กับทรายละเอียด สอดคล้องกับ Hillman และคณะ (1995) ซึ่งสำรวจบ่อกุ้งร้างแบบเปิดซึ่งมีทางติดต่อกับทะเลพบแนวหญ้าใบมะกรูดขึ้นอยู่รอบขอบบ่อ และในบ่อกุ้งมีลักษณะดินเป็นโคลนปนทราย นอกจากนี้ Hammerstrom และคณะ (2006) พบว่าพื้นที่ลากูนในแถบคาริเบียนที่พบหญ้า

ทะเลอย่างหนาแน่นมีเปอร์เซ็นต์ Sand และ Mud (silt และ clay) อยู่ระหว่าง 75-95 และ 5-15 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ตรงกับวัฒนา และวรวุฒิ (2542) ที่รายงานว่า บริเวณหาดยาวในอุทยานแห่งชาติหาดเจ้าไหมซึ่งมีการแพร่กระจายของหญ้าทะเลมากมีเปอร์เซ็นต์ Sand และ Silt เฉลี่ยเท่ากับ 87.53 และ 2.77 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากการทดลองนี้แม้ว่าดินจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวจะเป็นพื้นที่ยึดเกาะที่ไม่มั่นคงแต่ถ้ากระแสน้ำไม่รุนแรงดินดังกล่าวก็เป็นพื้นที่ยึดเกาะได้ดี และนอกจากรากจะสามารถชอนไชได้ดีแล้วดินจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวยังเป็นแหล่งธาตุอาหารที่สมบูรณ์ด้วย โดยในการทดลองพบว่าดินที่มีอัตราการปล่อยกุ้งขาว 80,000 ตัว/ไร่ มีปริมาณอินทรีย์สาร 5.79 เปอร์เซ็นต์ จากรายงานของสรสิทธิ์ และคณะ (2535) รายงานว่า ในดินจะมีน้ำซึ่งมีอิออนของธาตุละลายอยู่และมีการแลกเปลี่ยนอิออนกับน้ำภายนอกตลอดเวลา ดินโคลนที่มีอินทรีย์วัตถุสะสมตกค้างอยู่มากเมื่อถูกย่อยสลายแล้วธาตุอาหารในดินจะถูกปลดปล่อยออกสู่มวลน้ำทำให้พืชน้ำสามารถดูดเอาธาตุอาหารไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าปริมาณอินทรีย์สารในดินทุกแหล่งลดลง เนื่องจากหญ้าใบมะกรูดได้นำธาตุอาหารในดินไปใช้ สอดคล้องกับ Hillman และคณะ (1989) ซึ่งทำการ ศึกษาหญ้าทะเลและธาตุอาหารในบริเวณแหล่งหญ้าทะเลในเขตประเทศออสเตรเลียว่าเมื่อหญ้าทะเลมีผลผลิตสูงขึ้นความต้องการปริมาณธาตุอาหารของหญ้าทะเลก็มีมากขึ้นตามไปด้วย ตรงกับการรายงานของ Hemminga และ Duarte (2000); Holmer และคณะ (2001) พบว่าอินทรีย์สารในดินจะถูกนำออกไปโดยหญ้าทะเลและจุลชีพ ดังนั้นธาตุอาหารที่มีอยู่ในดินตะกอนจะพบในปริมาณน้อยลงเนื่องจากถูกดูดซึมไป แต่หากมีปริมาณธาตุอาหารในดินมากเกินความต้องการก็จะสามารถทำให้หญ้าทะเลตายได้ นอกจากนี้เหง้า และรากของหญ้าทะเลจะแพร่ออกซิเจนลงในดิน (Björk, *et al*., 2008) และจุลชีพที่อยู่บริเวณเหง้าและรากของหญ้าทะเลจะสร้างอาหารและจะให้ออกซิเจนแก่ดินทำให้ดินบริเวณดังกล่าวอุดมสมบูรณ์ (Smith, *et al*., 1988)

นอกจากนี้สารแขวนลอยยังมีผลต่อการเจริญเติบโตของหญ้าใบมะกรูดโดยเห็นได้จากหญ้าใบมะกรูดที่ปลูกในชุดควบคุม ซึ่งมีปริมาณสารแขวนลอยน้อยที่สุดมีการเจริญเติบโตดีกว่าหญ้าใบมะกรูดที่ปลูกในดินจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่มีอัตราการปล่อย กุ้งขาว 80,000, 100,000 และ 150,000 ตัว/ไร่ ตามลำดับ มีปริมาณสารแขวนลอยสูงมากทำให้การเจริญเติบโตของหญ้าใบมะกรูดต่ำ เนื่องจากเมื่อสารแขวนลอยตกตะกอนจะไปจับอยู่บริเวณใบทำให้ใบของหญ้าใบมะกรูดมีประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง และเป็นตัวจำกัดความเข้มแสงที่ส่องผ่านลงไปในน้ำ สอดคล้องกับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างสารแขวนลอยกับน้ำหนักสดและจำนวนยอดที่เพิ่มขึ้น โดยพบว่าน้ำหนักสดและจำนวนยอดที่เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์ในเชิงลบอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติกับสารแขวนลอย

4.3 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวของหญ้าใบมะกรูดที่ความหนาแน่นต่างๆ

ปริมาณสารแขวนลอยในน้ำที่ใช้เลี้ยงหญ้าใบมะกรูดด้วยความหนาแน่น 5, 10, 15 และ 20 กรัม/ลิตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 47.24, 47.39, 46.39 และ 46.94 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ จัดได้ว่าเป็นน้ำขุ่นปานกลางตามที่ Buck และคณะ (1983) ได้แบ่งระดับความขุ่นของน้ำไว้เป็น 3 ระดับ คือ น้ำที่ใสจะมีปริมาณสารแขวนลอยไม่เกิน 25 มิลลิกรัม/ลิตร น้ำขุ่นปานกลางมีปริมาณสารแขวนลอยอยู่ระหว่าง 25-100 มิลลิกรัม/ลิตร และน้ำขุ่นขี้เลนมีปริมาณสารแขวนลอยเกิน 100 มิลลิกรัม/ลิตร จากการทดลองพบว่าปริมาณสารแขวนลอยในน้ำที่ใช้เลี้ยงหญ้าใบมะกรูดทุกความหนาแน่นลดลงอย่างรวดเร็วตั้งแต่วันที่ 1 เนื่องจากน้ำเริ่มต้นที่ใช้มีปริมาณสารแขวนลอยสูง (เฉลี่ย 81.49 มิลลิกรัม/ลิตร) หากเกิดการจับตัวกันเป็นอนุภาคที่ใหญ่ขึ้นอาจทำให้เกิดการตกตะกอนอย่างรวดเร็วได้

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำที่ใช้เลี้ยงหญ้าใบมะกรูดทุกความหนาแน่นในช่วงวันที่ 1-3 มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลเพื่อการเพาะเลี้ยงชายฝั่งซึ่งกำหนดค่าไว้ไม่ต่ำกว่า 4 มิลลิกรัม/ลิตร (สำนักงานคณะกรรมการนโยบายและการฟื้นฟูทะเลไทย และสำนักงานคณะกรรมการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2541) แต่ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำในรอบวัน มีการเปลี่ยนแปลงมากโดยในช่วงเช้ามีค่าต่ำที่สุด (4.35 มิลลิกรัม/ลิตร) และในช่วงบ่ายมีค่าสูงสุด (8.01 มิลลิกรัม/ลิตร) ซึ่งอาจมีสาเหตุจากหญ้าใบมะกรูดที่มีการผลิตและการใช้ออกซิเจนในปริมาณมากในบางช่วงโดยเฉพาะในเวลากลางวันปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำเหนือต้นหญ้าใบมะกรูดมีปริมาณสูงเนื่องจากการสังเคราะห์ด้วยแสงของหญ้า แต่ในช่วงตอนกลางคืนน้ำจะอยู่ในสภาพขาดออกซิเจน เนื่องจากหญ้านำเอาออกซิเจนไปใช้ในกระบวนการหายใจ นอกจากนี้ออกซิเจนอาจถูกใช้ในการย่อยสลายอินทรีย์สารโดยแบคทีเรียที่อยู่ในน้ำทำให้ออกซิเจนลดลง ซึ่งเห็นได้จากการทดลองในวันที่ 5 พบว่า ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำลดลงต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน

ประสิทธิภาพในการบำบัดสารประกอบไนโตรเจนในรูปของ แอมโมเนีย-ไนโตรเจน, ไนเตรท-ไนโตรเจน และไนไตรท์-ไนโตรเจน ของหญ้าใบมะกรูดในทุกความหนาแน่นค่อยๆเพิ่มขึ้นจนสูงสุดในวันที่ 5 ซึ่งหญ้าใบมะกรูดที่มีความหนาแน่น 20 กรัม/ลิตร มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุดโดยสามารถบำบัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจน,ไนเตรท-ไนโตรเจน และไนไตรท์-ไนโตรเจน ได้ 27.38, 40.92 และ 35.26 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ตรงกับการรายงานของ Short และ McRoy (1984); Terrados และ Williams (1997); Lee และ Dunton (1999) ที่กล่าวว่าใบของหญ้าทะเลสามารถดูดซึมแอมโมเนีย-ไนโตรเจนและไนเตรท-ไนโตรเจนได้สูง และไนเตรท-ไนโตรเจนที่ได้จะนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง หรือสะสมอินทรียคาร์บอนและใช้เปลี่ยนเป็นพลังงาน (Thacker and Syrett, 1972; Lara *et al*., 1987; Turpin, 1991) ซึ่งหญ้าใบมะกรูดที่มีความหนาแน่น 20

กรัม/ลิตร มีจำนวนใบมากที่สุดทำให้มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุด และหญ้าใบมะกรูดมีประสิทธิภาพในการบำบัดไนเตรท-ไนโตรเจนได้ดีกว่าสารประกอบไนโตรเจนในรูปอื่นๆ (ยงยุทธ, 2543) สอดคล้องกับการศึกษาของจำลองและทักษิณา (2548) ซึ่งพบว่าหญ้าใบมะกรูดสามารถลดค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจน, ไนเตรท-ไนโตรเจน และไนไตรท์-ไนโตรเจน ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำได้ดี โดยเฉพาะในรูปของไนเตรท ซึ่งตรงกับรายงานของ พรรณี (2527) ที่กล่าวว่า ไนเตรทเป็นสารประกอบไนโตรเจนที่อยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้และพืชสามารถดูดไนเตรทไปใช้ได้ทันที เมื่อไนเตรทถูกพืชน้ำนำไปใช้ในการเจริญเติบโตจึงมีผลทำให้ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนในน้ำลดลง (ไมตรี และจารุวรรณ, 2528)

หลังจากวันที่ 5 ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจน, ไนเตรท-ไนโตรเจน และไนไตรท์-ไนโตรเจนลดลง โดยในวันที่ 15 หญ้าใบมะกรูดที่มีความหนาแน่น 20 กรัม/ลิตร มีประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจน และไนไตรท์-ไนโตรเจน ต่ำสุดเท่ากับ -17.02 และ -19.68 เปอร์เซ็นต์ ส่วนหญ้าใบมะกรูดที่มีความหนาแน่น 5 กรัม/ลิตร มีประสิทธิภาพในการบำบัดไนเตรท-ไนโตรเจนต่ำสุดเท่ากับ -5.23 เปอร์เซ็นต์ จากการทดลองการที่ประสิทธิภาพการบำบัดลดลงเมื่อเวลาผ่านไปอาจมีสาเหตุจากการตายของแพลงก์ตอนที่ปะปนมากับน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวเนื่องจากการเตรียมน้ำที่ใช้ทำการทดลองทำได้ไม่ดีจึงอาจมีการปะปนของแพลงก์ตอนอยู่มาก ซึ่ง Boyd (1989) กล่าวว่าภายหลังที่มีการตายของแพลงก์ตอนจำนวนมากแอมโมเนียในน้ำจะมีค่าเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ Kilminster และคณะ (2006) รายงานว่าหญ้าใบมะกรูดมีอายุใบเฉลี่ย 10-22 วัน ซึ่งระยะเวลาดังกล่าวใบของหญ้าใบมะกรูดในการทดลองได้เริ่มร่วงและเกิดการย่อยสลายโดยแบคทีเรียที่อยู่ในน้ำ และจากการที่ใช้หญ้าใบมะกรูดที่มีความหนาแน่น 20 กรัม/ลิตร ซึ่งเป็นความหนาแน่นการแพร่กระจายอย่างเต็มที่ และมีจำนวนใบมากที่สุดในทุกชุดการทดลองอาจทำให้ค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจน, ไนเตรท-ไนโตรเจน และไนไตรท์-ไนโตรเจนในน้ำเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้เกิดจากการเก็บใบที่ร่วงทำได้ไม่หมด ดังนั้นในการใช้หญ้าใบมะกรูดบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวควรจะใช้ในระยะเวลา 5 วัน จึงจะมีประสิทธิภาพในการบำบัดดีที่สุด

สำหรับการใช้หญ้าใบมะกรูดเพื่อบำบัดสารประกอบฟอสเฟตในรูปออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวพบว่า ทุกความหนาแน่นของหญ้าใบมะกรูดมีประสิทธิภาพในการบำบัดออร์โธฟอสเฟตใกล้เคียงกัน โดยในวันที่ 5 หญ้าใบมะกรูดที่มีความหนาแน่น 20 กรัม/ลิตร มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุดเท่ากับ 23.33 เปอร์เซ็นต์ หลังจากนั้นประสิทธิภาพจะลดลงโดยในวันที่ 15 หญ้าใบมะกรูดที่มีความหนาแน่น 20 กรัม/ลิตร มีประสิทธิภาพในการบำบัดต่ำสุดเท่ากับ -11.08 เปอร์เซ็นต์ จากการทดลองจะเห็นได้ว่าแม้หญ้าใบมะกรูดสามารถบำบัดออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวได้แต่ก็เป็นปริมาณที่น้อย ซึ่งอาจเป็น

เพราะว่าฟอสฟอรัสที่เหลืออยู่มากอาจถูกปลดปล่อยจากกระบวนการสลายเซลล์ (Cell Iysis) ของใบหญ้าใบมะกรูดที่ร่วงหรือแพลงก์ตอนที่ปะปนมากับน้ำทิ้ง ซึ่งสอดคล้องกับ Quevauviller (1995) ที่รายงานว่ากระบวนการเคมีที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของธาตุอาหารอาจเกิดจากกระบวนการย่อยสลายธาตุอาหาร โดยแบคทีเรียที่สร้างอาหารเองไม่ได้ กระบวนการสลายเซลล์ที่เกิดขึ้นหลังจากเซลล์ได้ตายลงและกระบวนการขับถ่าย ทำให้อาหารส่วนใหญ่กลับสู่น้ำโดยเฉพาะอย่างยิ่งฟอสเฟต

เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวของหญ้าใบมะกรูดกับพืชชนิดอื่นๆ เช่น ใช้โกงกางใบเล็กขนาด 160.3, 122.4 และ 82.5 กรัมต่อต้น (แบ่งตามมวลชีวภาพ) บำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งพบว่า มีประสิทธิภาพการลดปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งได้ ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ (เจนจิรา แก้วรัตน์, 2541) สาหร่ายวุ้น (*Gracilaria verrucosa*) ความหนาแน่น 5 กรัม/ลิตร บำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำในระยะเวลา 4 วัน พบว่าลดปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน, ไนเตรท-ไนโตรเจน, ไนไตรท์-ไนโตรเจน และฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส เท่ากับ 77.12, 79.03, 77.27 และ 60.53 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (อภิรักษ์ จันทวงศ์, 2536) และการใช้สาหร่ายหนามที่ความหนาแน่น 10.5 กรัม/ลิตร พบว่า สามารถลดปริมาณแอมโมเนียรวม ,ไนไตรท์, ไนเตรท, ไนโตรเจนรวม และฟอสเฟตรวมเท่ากับ 92.10, 57.80, 97.80, 78.00 และ 92.20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในระยะเวลา 4 วัน (นิคม และคณะ, 2548) จากการเปรียบเทียบจะสังเกตเห็นว่าพืชอื่นๆ มีประสิทธิภาพการบำบัดสารประกอบไนโตรเจนและฟอสเฟตมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูงกว่าประสิทธิภาพการบำบัดสารประกอบไนโตรเจนและฟอสเฟตของหญ้าใบมะกรูด ทั้งนี้อาจสืบเนื่องมาจากในการทดลองไม่ได้ปรับให้ความหนาแน่นของหญ้าใบมะกรูดทุกชุดการทดลองเท่ากับความหนาแน่นเริ่มต้นบางชุดการทดลองที่หญ้าใบมะกรูดตายความหนาแน่นจะลดลงจึงทำให้มีประสิทธิภาพการบำบัดต่ำ นอกจากนี้การเตรียมน้ำที่ใช้ในการทดลองที่เตรียมได้ไม่ดี เกิดการปะปนของแพลงก์ตอน และแต่ละการทดลองมีปริมาณสารแขวนลอยแตกต่างกันทำให้ความเข้มแสงในแต่ละชุดอาจแตกต่างกันจึงทำให้มีประสิทธิภาพการบำบัดต่ำและแตกต่างกัน

4.4 อัตราการดูดซับธาตุอาหารในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวของหญ้าใบมะกรูด

อัตราการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจน, ไนเตรท-ไนโตรเจน และออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส จากการศึกษาพบว่า หญ้าใบมะกรูดที่ความหนาแน่น 20 กรัม/ลิตร มีอัตราการดูดซับธาตุอาหารได้ดีในช่วง 3-5 วันแรก แล้วอัตราการดูดซับธาตุอาหารจะลดลงในวันถัดมาและมีอัตราการดูดซับไนเตรท-ไนโตรเจนได้มากที่สุด ซึ่งตรงกับพรรณี (2527) ที่กล่าวว่า ไนเตรทเป็นสารประกอบ

ไนโตรเจนที่อยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้และพืชสามารถดูดไนเตรทไปใช้ได้ทันที นอกจากนี้กาญจนภาชน์ และคณะ (2534) รายงานว่า การดูดซึมสารอาหารของพืชน้ำจะดีหรือไม่นั้นขึ้นอยู่กับปริมาณสารอาหารในน้ำด้วย เห็นได้จากในช่วงต้นการทดลองปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวมีมากทำให้หญ้าใบมะกรูดมีอัตราการดูดซับไนเตรท-ไนโตรเจนสูง แต่เมื่อเวลาผ่านไปปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนลดลง ทำให้หญ้าใบมะกรูดมีอัตราการดูดซับไนเตรท-ไนโตรเจนลดลงเช่นกัน หรืออาจกล่าวได้ว่าอัตราการดูดซับสารอาหารแปรผันตามปริมาณความเข้มข้นของสารอาหารที่อยู่ในน้ำ ตรงกับการรายงานของสันติ (2546) ; ธวัช และคณะ (2548) ซึ่งพบว่า สาหร่ายพวงองุ่นและสาหร่ายมงกุฎหนาม ที่มีความหนาแน่น 1 กรัม/ลิตร มีอัตราการดูดซับสารอาหารได้ดีในวันแรกแล้วลดลงในวันถัดมา โดยในวันแรกปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนในน้ำมีค่าสูงแต่เมื่อเวลาผ่านไปปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนมีค่าลดลง

บทที่ 5

สรุป

5.1 สภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของหญ้าใบมะกรูด

5.1.1 ระดับความเค็มที่เหมาะสม

หญ้าใบมะกรูดสามารถเจริญเติบโตได้ดีในความเค็ม 25-35 ส่วนในพัน และสามารถเจริญเติบโตได้ดีที่สุดในความเค็ม 30 ส่วนในพัน ส่วนระดับความเค็มที่ต่ำกว่า 20 และสูงกว่า 40 ส่วนในพัน ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของหญ้าใบมะกรูด

5.1.2 อัตราส่วนของไนโตรเจนรวม : ฟอสฟอรัสรวม และแหล่งของปุ๋ยไนโตรเจนที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของหญ้าใบมะกรูด

หญ้าใบมะกรูดที่เลี้ยงในความเค็ม 30 ส่วนในพัน แล้วเติมปุ๋ยโดยใช้แหล่งไนโตรเจนจากปุ๋ยไนเตรทมีการเจริญเติบโตดีกว่าแหล่งไนโตรเจนจากปุ๋ยแอมโมเนีย และอัตราส่วนของไนโตรเจนรวม : ฟอสฟอรัสรวม ที่ 12 : 1 ในแหล่งไนโตรเจนจากปุ๋ยไนเตรททำให้หญ้าใบมะกรูดมีการเจริญเติบโตดีที่สุด

5.2 การเลี้ยงหญ้าใบมะกรูดด้วยดินและน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว (*Penaeus vannamei*) ที่มีอัตราการปล่อยแตกต่างกัน

หญ้าใบมะกรูดที่ปลูกในน้ำที่ความเค็ม 30 ส่วนในพัน โดยใช้ดินจากบ่อเลี้ยงกุ้งที่มีอัตราการปล่อยกุ้งขาว 80,000 ตัว/ไร่ เจริญเติบโตได้ดีใกล้เคียงกับหญ้าใบมะกรูดที่ปลูกในดินตามธรรมชาติซึ่งเจริญเติบโตได้ดีที่สุดเพราะมีปริมาณอินทรีย์สารและเนื้อดินใกล้เคียงกับดินตามธรรมชาติที่สุดและทำให้หญ้าใบมะกรูดเจริญเติบโตได้ดีกว่าชุดที่ปลูกในดินจากบ่อเลี้ยงกุ้งที่มีอัตราการปล่อยกุ้งขาวหนาแน่นขึ้น นอกจากนี้สารแขวนลอยในน้ำมีผลต่อการเจริญเติบโตของหญ้าใบ

มะกรูดมากกว่าปริมาณธาตุอาหาร โดยเมื่อมีสารแขวนลอยมากการเจริญเติบโตของหญ้าใบมะกรูดจะลดลง

5.3 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวของหญ้าใบมะกรูดที่ความหนาแน่นต่างๆ

หญ้าใบมะกรูดที่มีความหนาแน่น 5 และ 10 กรัม/ลิตร มีประสิทธิภาพในการบำบัดไนเตรท-ไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวในแต่ละวันแตกต่างกัน และทุกความหนาแน่นของหญ้าใบมะกรูดมีประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจน, ไนไตรท์-ไนโตรเจน และออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวไม่แตกต่างกัน และระยะเวลาในการบำบัดมีประสิทธิภาพไม่แตกต่างกัน โดยหญ้าใบมะกรูดที่มีความหนาแน่น 20 กรัม/ลิตร มีประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจน, ไนเตรท-ไนโตรเจน, ไนไตรท์-ไนโตรเจน และออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวได้ดีที่สุด โดยประสิทธิภาพจะค่อยๆเพิ่มขึ้นจนสูงสุดในวันที่ 5 จากนั้นประสิทธิภาพจะค่อยๆลดลง โดยมีประสิทธิภาพบำบัดไนเตรท-ไนโตรเจนได้มากที่สุดและมีประสิทธิภาพบำบัดออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสได้น้อยที่สุด นอกจากนี้หากปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำมีค่าต่ำประสิทธิภาพการบำบัดของหญ้าใบมะกรูดจะลดลง

5.4 อัตราการดูดซับธาตุอาหารในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวของหญ้าใบมะกรูด

หญ้าใบมะกรูดที่ความหนาแน่น 20 กรัม/ลิตร มีอัตราการดูดซับธาตุอาหารได้ดีในช่วง 3-5 วันแรก แล้วอัตราการดูดซับธาตุอาหารจะลดลงในวันถัดมา และมีอัตราการดูดซับไนเตรท-ไนโตรเจนได้ดีที่สุดเท่ากับ 1.08 มิลลิกรัม/กรัม/วัน

ข้อเสนอแนะ

1. หญ้าใบมะกรูดมีความเหมาะสมในการช่วยบำบัดปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาว เพราะเป็นหญ้าทะเลที่สามารถเจริญเติบโตและสามารถช่วยบำบัดสารประกอบไนโตรเจนในน้ำทิ้งได้ดี แต่มีข้อจำกัดเกี่ยวกับความหนาแน่นที่ใช้ซึ่งควรใช้ความหนาแน่นต่ำกว่า 20 กรัม/ลิตร เนื่องจากหากใช้ความหนาแน่นสูงปริมาณใบจะมีมากเมื่อใบร่วงอาจก่อให้เกิดปัญหาต่อคุณภาพน้ำในบริเวณดังกล่าว นอกจากนี้ควรเป็นแหล่งเลี้ยงกุ้งขาวที่อยู่ในพื้นที่ที่น้ำทะเลมีความเค็มสูงกว่า 25 ส่วนในพัน เพราะหากมีความเค็มของน้ำต่ำกว่านี้จะมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของหญ้าใบมะกรูดและส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำของหญ้าใบมะกรูดในที่สุด

2. หญ้าใบมะกรูดมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำได้ดีในระยะเวลาไม่เกิน 5 วัน ซึ่งน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วสามารถนำกลับมาใช้หรือปล่อยลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติได้ เนื่องจากน้ำมีปริมาณสารอาหารน้อยทำให้ไม่เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แต่หากระยะเวลาเกิน 5 วัน ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำของหญ้าใบมะกรูดจะลดลง

3. ควรศึกษาทดลองเกี่ยวกับระดับที่เหมาะสมของปัจจัยในการเจริญเติบโต เช่น ความเข้มแสง อุณหภูมิ ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ ฯลฯ เพื่อใช้เลี้ยงหญ้าใบมะกรูดต่อไป

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. 2545. คู่มือการออกปฏิบัติงานเมื่อเกิดปรากฏการณ์ขี้ปลาวาฬ. กรุงเทพฯ: กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

กรมควบคุมมลพิษ. 2550. มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง. เข้าถึงจาก http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_water04.html#s12. (เข้าถึงเมื่อ 4 ธันวาคม 2550).

กรมป่าไม้. 2537. แหล่งหญ้าทะเลและแนวปะการังในอุทยานแห่งชาติหาดเจ้าไหม. กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กฤษณ อินทรสุข. 2542. การกระจายและความหลากหลายของสัตว์ทะเลตามฤดูกาลในแหล่งหญ้าทะเลที่อ่าวปัตตานี. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

กาญจนภาชน์ ลิ่วมโนมนต์, สุจินต์ ดีแท้ และวิทยา ศรีมโนภาษ. 2534. อนุกรมวิธานหญ้าทะเลในประเทศไทย. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กาญจนา อดุลยานุโกศล, สุพจน์ จันทราภรณ์ศิลป์, สมบัติ ภู่วชิรานนท์ และก้องเกียรติ กิตติวัฒนาวงค์. 2542. รายงานการบินสำรวจพะยูนทางฝั่งทะเลอันดามันในปี พ.ศ. 2540 และ 2542 โดยเครื่องบินกองทัพเรือ. สถาบันวิจัยชีววิทยาและประมงทะเล.

คณิต ไชยาคำ, พุทธ ส่องแสงจินดา และดุสิต ตันวิไลย. 2535. การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำและแพลงค์ตอนพืชในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา อำเภอระโนด จังหวัดสงขลา. สงขลา: เอกสารวิชาการฉบับที่ 4/2535. สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง. กรมประมง.

คเชนทร เฉลิมวัฒน์. 2543. การเพาะเลี้ยงพืชและสัตว์น้ำ. ชลบุรี: คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.

คมน์ ศิลปาจารย์ และรัชดาภรณ์ เอี่ยมสำอางค์. 2546. การลดปริมาณแอมโมเนียรวมในน้ำทะเลโดยวิธีเคมีและชีวบำบัด. เอกสารวิชาการฉบับที่ 9/2546. ประจวบคีรีขันธ์: ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งประจวบคีรีขันธ์. กรมประมง.

คมน์ ศิลปาจารย์, คมคาย ลาวัณยวุฒิ, รัชดาภรณ์ เอี่ยมสำอาง และอุไร เจียรนัย. 2548. การทดลองหาระดับธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่เหมาะสมในการเลี้ยงสาหร่ายผมนาง *Gracilaria fisheri* (Xia & Abbott) Abbott, Zhang & XIA โดยวิธี Non-linear regression analysis. เอกสารวิชาการฉบับที่ 33/2548. ประจวบคีรีขันธ์ : ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งประจวบคีรีขันธ์. กรมประมง.

จำลอง อรุณเลิศอารีย์ และทักษิณา สวาทพงษ์. 2548. การใช้หญ้าทะเล *Halophila ovalis* ลดปริมาณบีโอดี สารประกอบไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งทะเล. วารสารการประมง 58: 25-33.

จิตติมา อายุตตะกะ, สันติ สังข์ทอง และกมลพันธ์ อวัยวานนท์. 2535. แหล่งหญ้าทะเลบริเวณอ่าวคุ้งกระเบน. รายงานการสัมมนาวิชาการประจำปี 2535 ณ สถาบันวิจัยประมงน้ำจืด กรุงเทพฯ 16-18 กันยายน 2535, หน้า 369-378.

เจนจิรา แก้วรัตน์. 2541. ความสามารถของโกงกางใบเล็ก *Rhizophora apiculata* เพื่อการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้ง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ชัชรี สุพันธุ์วณิช. 2544. หญ้าทะเล. เข้าถึงจาก http://www. ku. ac. th/e magazine/ november 44/ agri/ seagrasses. html. (เข้าถึงเมื่อ 5 กุมภาพันธ์ 2549).

ทักษิณา สวาทพงษ์. 2541. การใช้หญ้าทะเล *Halophila ovalis* ลดปริมาณ บีโอดี สารประกอบไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยมหิดล.

ธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2544. การกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทางชีวภาพ. กรุงเทพฯ: สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.

ธวัช ศรีวีระชัย, สุวรรณา วรสิงห์ และสุริยะ แพงดี. 2548. ประสิทธิภาพของสาหร่ายมงกุฎหนาม *Acanthophora spicifera* (Vahl) Borgesen ในการบำบัดคุณภาพน้ำทะเล และน้ำทิ้งจากโรงเพาะอนุบาลสัตว์น้ำ. เอกสารวิชาการฉบับที่ 18/2548 จันทบุรี: ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งจันทบุรี. กรมประมง.

นิคม ละอองศิริวงศ์, ยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร และทองเพชร สันบูกา. 2548. การใช้สาหร่ายหนามกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา. รายงานการสัมมนาวิชาการด้านการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง ประจำปี 2548 ณ ณ โรงแรมเฮอร์มิเทจรีสอร์ท แอนด์ สปา จังหวัดนครราชสีมา 26-29 พฤษภาคม 2548, หน้า 47-52.

ประทีป สองแก้ว. 2544. การบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon* Fabricius) แบบพัฒนา โดยใช้หอยตะโกรมกรามขาว (*Crassostrea belcheri* Sowerby). วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

พรรณี เพชรยศ. 2527. นิเวศวิทยา. ชลบุรี: คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.

พุทธ ส่องแสงจินดา, กฤษณา องอาจ, วลีรัตน์ มูสิกะสังข์ และพนารัตน์ สอนสุกใส. 2550. ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตกับคุณภาพน้ำทิ้งและตะกอนดินจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา. รายงานการสัมมนาวิชาการด้านการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง ประจำปี 2550 ณ โรงแรมเนวาด้าแกรนด์ จังหวัดอุบลราชธานี 10-14 มิถุนายน 2550, หน้า 33-36.

ไมตรี ดวงสวัสดิ์ และจารุวรรณ สมศิริ. 2528. คุณสมบัติของน้ำและวิธีวิเคราะห์สำหรับงานวิจัยทางการประมง. กรุงเทพฯ: กรมประมง.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2543. ธาตุอาหารของพืช. กรุงเทพฯ: ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วรรณา กิ่งกาญจน์, ทิพวรรณ เศรษฐพรรค์ และหทัยรัตน์ นุกูล. 2545. รายงานการวิจัยการศึกษาความหลากหลายและการแพร่กระจายของหญ้าทะเลในเขตอุทยานแห่งชาติทางทะเล. กรุงเทพฯ: สำนักอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ กรมป่าไม้.

วรากร ไม้เรียง, จิรพัฒน์ โชติกไกร และประทีป ดวงเดือน. 2525. ทฤษฎีและปฏิบัติการ. *ใน* ปฐพีกลศาสตร์. หน้า 180. กรุงเทพฯ: ฟิสิกส์เซ็นเตอร์การพิมพ์.

วลีรัตน์ มูสิกะสังข์ และ พุทธ ส่องแสงจินดา. 2547. ประสิทธิภาพและดุลไนโตนเจนของการบำบัดน้ำจากบ่อเลี้ยงกุ้งระบบหมุนเวียนโดยใช้สาหร่ายพวงองุ่น (*Caulerpa lentillifera* J. Agardh). รายงานการสัมมนาวิชาการประมง ประจำปี 2547 ณ ห้องประชุมกรมประมง กรุงเทพฯ 7-9 กรกฎาคม 2547, หน้า 311-323.

วลีรัตน์ มูสิกะสังข์, สมชาย วิบุลพันธ์, วิชาญ ชูสุวรรณ และกิ่งกาญจน์ สุดใจ. 2537. การศึกษาคุณภาพน้ำทะเลบริเวณการจัดสร้างระบบน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้ง อ. ระโนด จ. สงขลา. รายงานการสัมมนาวิชาการประจำปี 2537 ณ กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ 19-21 กันยายน 2537, หน้า 224-228.

วัฒนา วัฒนกุล และวรวุฒิ เกิดปราง. 2542. การทดลองปลูกหญ้าทะเล บริเวณหาดราชมงคล อำเภอสิเกา จังหวัดตรัง. รายงานการสัมมนาวิชาการสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 15 ณ โรงแรมปางสวนแก้วและวิทยาเขตภาคพายัพ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 12-14 กุมภาพันธ์ 2541, หน้า 384-392.

วิวรรธน์ สิงห์ทวีศักดิ์. 2543. ศึกษาผลของปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโตของต้นอ่อนสาหร่ายผมนาง. เอกสารวิชาการฉบับที่ 10/2543. จันทบุรี : ศูนย์พัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งจันทบุรี. กรมประมง.

วิสุทธิ์ ถิรสัตยวงศ์, ศิริลักษณ์ รื่นศิริกุล และธัญญา ดวงจินดา. 2545. ประชาคมแหล่งหญ้าทะเลบริเวณชายฝั่งทะเลจังหวัดสงขลา. สงขลา: คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ.

ศรีสม สุวรรณวงศ์. 2549. การวิเคราะห์ธาตุอาหารพืช. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศิริวรรณ คิดประเสริฐ. 2538. การใช้สาหร่ายทะเลลดปริมาณสารประกอบไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้ง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมถวิล จริตควร. 2540. หญ้าทะเล. *ใน* ชีววิทยาทางทะเล, หน้า 169. ชลบุรี : คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบรูพา.

สมบัติ ภู่วชิรานนท์. 2535. ระบบนิเวศหญ้าทะเล. เอกสารวิชาการฉบับที่ 5/2535. ภูเก็ต : สถาบันวิจัยชีววิทยาและประมงทะเล. กรมประมง.

สมบัติ ภู่วชิรานนท์, กาญจนา อดุลยุโกศล, ภูธร แซ่หลิ่ม, อดิศร เจริญวัฒนาพร, ชัยมงคล แย้มอรุณ พัฒนา และจันทร์เพ็ญ วุฒิวรวงศ์. 2549. หญ้าทะเลในน่านน้ำไทย. กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเล ชายฝั่งทะเล และป่าชายเลน.

สมศักดิ์ แสนสุข, สุรจิต วรรณจันทร์, วนิดา วัชรโสพิษฐกุล และฉลอง เมืองสนธ์. 2534. การศึกษาผลของอัตราปุ๋ยยูเรีย 46% ที่มีต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Polycavernosa changii* ในแปลงทดลองระบบฟาร์มปิด ซึ่งน้ำทะเลมีความเค็ม 10-20 ส่วนในพัน. *ใน* รายงานการวิจัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒประสานมิตร, หน้า 334-335. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒประสานมิตร.

สรสิทธิ์ วัชโรทยาน, แจ่มจันทร์ วิจารสรณ์, จงรักษ์ จันทร์เจริญสุข, ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, สุรพล รัตนโสภณ และสุเทพ ทองแพ. 2535. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สันติ ปริยะวาที. 2546. การใช้สาหร่ายพวงองุ่น (*Caulerpa lentillifera* J. Agardh) ในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) แบบพัฒนา. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์.

สำนักงานคณะกรรมการนโยบายและการฟื้นฟูทะเลไทย และสำนักงานคณะกรรมการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. 2541. รายงานฉบับสุดท้าย โครงการจำแนกการใช้ประโยชน์ทางทะเล. กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ. 2534. มาตรฐานคุณภาพน้ำประเทศไทย. กรุงเทพฯ: ฝ่ายคุณภาพน้ำ กองมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม.

สิริ เอกมหาราช, ก่อเกียรติ กูลแก้ว, พุทธ ส่องแสงจินดา และจุลีรัตน์ พรหมสุด. 2548. การศึกษาน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเล เพื่อประเมินผลกระทบต่อระบบนิเวศในทะเลสาบสงขลา. รายงานการประชุมวิชาการประมง ประจำปี 2548 กรมประมง ณ โรงแรมเอเชียแอร์พอร์ท 12-13 กรกฎาคม 2548, หน้า 78-79.

สุวลักษณ์ นาทีกาญจนลาภ, สมบัติ ภู่วชิรานนท์ และสมชาย สาธุมนัสพันธุ์. 2534. หญ้าทะเล. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เสาวภา อังสุภานิช. 2537. ระบบนิเวศหญ้าทะเล. *ใน* นิเวศวิทยาชายฝั่ง, หน้า 135. สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

อภิรักษ์ จันทวงศ์. 2536. การบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) แบบพัฒนาโดยใช้สาหร่ายวุ้น(*Gracilaria verrucosa*). วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

Adams, J. B. and Bate, G. C. 1994. The ecological implications of tolerance to salinity by *Ruppia cirrhosa* (Petagna) Grande and *Zostera capensis* Setchell. Botanica Marina 37: 449–456.

Allan, J. D. 1995. Stream Ecology: Structure and Function of Nutrient Waters. London: Chapman and Hall. pp. 283-293.

Anderson, T., Christensen, C. and Pedersen, O. 2007. Light-The driving force for growth of aquatic plants. The Aquatic Gardener 20: 26-35.

APHA, AWWA and WPCF (American Public Health Association, American Water Works Association and Water Pollution Control Federation). 1980. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. New York : American Public Health Publishers.

Benjamin, K. J., Walker, D. I., McComb, A. J. and Kuo, J. 1999. Structural response of marine and estuarine plants of *Halophila ovalis* (R. Br.) Hook. *f*. to long-term hyposalinity. Aquatic Botany 64: 1-17.

Beveridge, M. C. M. 1996. Cage Aquaculture. (2 nd ed.) Cambridge: The University Press.

Biebl, R. and McRoy, C. P. 1971. Plasmatic resistance and rate of respiration and photosynthesis of *Zostera marina* at different salinities and temperatures. Marine Biology 8: 48-56.

Björk, M., Short, F., Mcleod, E. and Beer, S. 2008. Managing Seagrasses for Resilience to Climate Change. Gland: IUCN.

Boyd, C. E. 1989. Water Quality Management and Aeration in Shrimp Farming. Alabama: Auburn University.

Buck, H., Malecha, S. R. and Baur, R. J. 1983. Prawn/fish production using different types and loading of swine manure. Journal of The World Mariculture Society 14: 531-532.

Calumpong, H. P., Phillips, R. C. and Menez, E. G. 1992. Performance of seagrass transplants in Negros Island, central Philippines and its implications in mitigating degraded shallow coastal areas. Proceedings of the 2 nd RP-USA Phycology Symposium Workshop, pp. 294-313. Manila: Silliman University Press.

Campbell, S. J., McKenzie, L. J. and Kerville, S. P. 2006. Photosynthetic responses of seven tropical seagrasses to elevated seawater temperature. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 330: 455-468.

Carter, M. R. 1993. Soil Sampling and Method of Analysis. Florida: Lewis Publishers.

Chiu, Y. N. 1998. Water quality management for intensive prawn ponds. *In* Technical Considerations for the Management and Operation of Intensive Prawn Farms. (eds. Chiu, L. M., Santos, L. M. and Juliano, R. O.), pp. 102-18. Hoilo City: U. P. Aquaculture Society.

Coles, R. G., Lee Long, W. J., McKenzie, L., Roelofs, A. and De'ath, G. 2000. Stratification of seagrasses in the Great Barrier Reef world heritage area, northeastern Australia, and the implications for management. Biologia Marina Mediterranea 7: 345-348.

Czerny, A. B. and Dunton, K. H. 1995. The effects of in situ light reduction on the growth of two subtropical seagrasses, *Thalassia testudinum* and *Halodule wrightii*. Estuaries 18: 418-427.

Dawes, C. J. 1998. Biomass and photosynthetic responses to irradiance by a shallow and a deep water population of *Thalassia testudinum* on the west coast of Florida. Bulletin of Marine Science 62: 89-96.

Dawes, C. J. and McIntosh, R. P. 1981. The effect of organic material and inorganic ions on the photosynthetic rate of the red alga *Bostrichya binderi* from a Florida estuary. Experimental Marine Biology and Ecology 64: 213-218.

Deboer, J. A. 1981. Nutrient. *In* The Biology of Seaweeds (eds. Lobban, C.S. and Wynnc, M. J.), pp. 351-359. New York: Blackwell Scientific Publication.

den Hartog, C. 1970. The Sea-grass of The World. Amsterdam: North-Holland Publishing Co.

Diaz-Almela, E., Marba, N. and Duarte, C. M. 2007. Consequences of Mediterranean warming events in seagrass (*Posidonia oceanica*) flowering records. Global Change Biology 13: 224-235.

Dojlido, J. R. and Best, G. A. 1993. Chemistry of Water and Water Pollution. Chichester: Ellis Horwood Limited.

Duarte, C. M., Merino, M. and Gallegos, M. 1995. Evidence of iron deficiency in seagrasses growing above carbonate sediments. Limnology and Oceanography 40: 1153-1158.

Edwards, A. J. 1995. Impact of climatic change on coral reefs, mangroves, and tropical seagrass ecosystems. *In* Climate Change: Impact on Coastal Habitation (ed. Eisma, D.), pp. 209-211. Netherlands: Lewis.

Ehlers, A., Worm, B. and Reutsch, B. H. 2008. Importance of genetic diversity in eelgrass *Zostera marina* for its resilience to global warming. Marine Ecology Progress Series 355: 1-7.

Erftemeijer, P. L. A. and Stapel, J. 1999. Primary production of deep-water *Halophila ovalis* meadows. Aquatic Botany 65: 71–82.

Erftemeijer, P. L. A., Osinga, R. and Mars, A. E. 1993. Primary production of seagrass beds in south Sulawesi (Indonesia): A comparison of habitats, methods and species. Aquatic Botany 46: 67–90.

Erftemeijer, P. L. A., Stapel. J., Smekens, J. E. and Drossaert, W. M. E. 1994. The limited effect of in situ phosphorus and nitrogen additions to seagrass beds on carbonate and terrigenous sediments in South Sulawesi, Indonesia. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 182: 123-140.

FAO. 1992. Guidelines for the promotion of environmental management of coastal aquaculture development. FAO Fisheries Technical Paper 328: 122.

Ferdie, M. and Fourqurean, J. W. 2004. Responses of seagrass communities to fertilization along a gradient of relative availability of nitrogen and phosphorus in a carbonate environment. Limnology and Oceanography 49: 2082–2094.

Fong, P., Jonh, F. J. and Fong, C. R. 2004. Growth, nutrient storage and release of dissolved organic nitrogen by *Enteromorpha intestinalis* in response to pulses of nitrogen and phosphorus. Aquatic Botany 78: 83-95.

Fonseca, M. S. and Cahalan, J. A. 1992. A preliminary evaluation of wave attenuation by four species of seagrass. Estuarine, Coastal and Shelf Science 34: 565-576.

Forsberg, J. A. and Summerfelt, R. C. 1992. Ammonia excretion by fingerling walleyes fed two formulated diet. The Progressive Fish-Culturists 54: 45-48.

Fortes, M. D. 1990. Seagrasses: A Resource Unknown in the ASEAN Region. ICLARM Education Series 5. Manila: International Center for Living Aquatic Resources Management.

Fourqurean, J. W., Zieman, J. C. and Powell, G. V. N. 1992. Phosphorus limitation of primary production in Florida Bay: Evidence from C:N:P ratios of the dominant seagrass *Thalassia testudinum*. Limnology and Oceanography 37: 162-171.

Gerloff, G. C. and Krombholz, P. H. 1966. Tissue analysis as a measure of nutrient availability for the growth of angiosperm aquatic plant. Limnology and Oceanography 11: 529-537.

Gönenc, I. E. and Wolflin, J. P. 2005. Coastal Lagoons Ecosystem Processes and Modeling for Sustainable Use and Development. New York: CRC Press.

Grasshoff, K., Ehrhardt, M. and Kremling, K. 1983. Method of Seawater Analysis. (2nd ed.) Weinheim: Wiley-VCH.

Hammerstrom, K. K., Kenworthy, W. J., Fonseca, M. S. and Whitfield, P. E. 2006. Seed bank, biomass and productivity of *Halophila decipiens*, a deep water seagrass on the west Florida continental shelf. Aquatic Botany 84: 110-120.

Hemminga, M. A. 1998. The root/rhizome system of seagrasses. Journal of Sea Research 39: 183-196.

Hemminga, M. A. and Duarte, C. M. 2000. Seagrass Ecology. Cambridge: Cambridge University Press.

Hillman, K. 1985. The production ecology of the seagrass *Halophila ovalis* (R. Br.) Hook. *f*. in the Swan/Canning Estuary, Western Australia. Ph.D. Dissertation, University of Western Australia: Botany Department.

Hillman, K., Walker, D. J. and McComb, A. J. 1995. The distribution, biomass and primary production of the seagrass *Halophila ovalis* in the Swan/Canning Estuary, Western Australia. Aquatic Botany 51: 1-54.

Hillman, K., Walker, D. J., Larkum, A. W. E. and McComb, A. J. 1989. Productivity and nutrient limitation. *In* Biology of Seagrasses. (eds. Larkum, A. W. E., McComb, A. J. and Shepherd, S. A.), pp. 635-640. Amsterdam: Elsevier Science Publishers B. V.

Holmer, M., Andersen, F. Ø., Neilsen, S. L. and Boschker, H. T. S. 2001. The importance of mineralization based on sulfate reduction for nutrient regeneration in tropical seagrass sediments. Aquatic Botany 71:1-17.

Huong, T. T. L., Vermaat, J. E., Terrados, J., Tien, N. V., Duarte, C. M., Borum, J. and Tri, N. H. 2003. Seasonality and depth zonation of intertidal *Halophila ovalis* and *Zostera japonica* in Ha Long Bay (northern Vietnam). Aquatic Botany 75: 147-157.

Kenworthy, W. J. and Fonseca, M. S. 1996. Light requirement of seagrasses *Halodule wrightii* and *Syringodium filiforme* derived from the relationship between diffuse light attenuation and maximum depth distribution. Estuaries 19: 740-750.

Kilminster, K. L., Walker, D. I., Thompson, P. A. and Raven, J. A. 2006. Limited nutritional benefit to the seagrass *Halophila ovalis*, in culture, following sediment organic matter enrichment. Estuarine, Coastal and Shelf Science 68: 675-685.

Kuo, J. 2007. New monoecious seagrass of *Halophila sulawesii* (Hydrocharitaceae) from Indonesia. Aquatic Botany 87: 171–175.

Kuo, J., Shibuno, T., Kanamoto, Z. and Noro, T. 2001. *Halophila ovalis* (R. Br.) Hook. *f*. from a submarine hot spring in southern Japan. Aquatic Botany 70: 329-335.

Lapointe, B. E. and Ryther, J. H. 1978. Some aspects of the growth and yield of *Gracilaria tikvahiae* in culture. Aquaculture 15: 185-193.

Lara, C., Romero, J. M. and Guerrero, M. G. 1987. Regulated nitrate transport in the cyanobacterium *Anacystis nidulans*. Journal of Bacteriology 169: 4376–4378.

Larkum, A. W. D. and den Hartog, C. 1989. Evolution and biogeography of seagrasses. *In* Biology of Seagrasses (eds. Larkum, A. W. D., McComb, A. J. and Shepherd, S. A.). New York: Elsevier Press.

Lee, K.-S. and Dunton, K. H. 1999. Inorganic nitrogen acquisition in the seagrass *Thalassia testudinum*: Development of a whole-plant nitrogen budget. Limnology and Oceanography 44: 1204–1215.

Lin, H. P., Thuet, P., Trilles, J. P., Guillaume, R. M. and Charmantier, G. 1993. Effects of ammonia on survival and osmoregulation of various development stages of the shrimp *Penaeus japonicus*. Marine Biology 117: 591-598.

Marshall, C. P. and Fairbridge, R. W. 1999. Encyclopedia Geochemistry. London: Kluwer Academic Publishers.

Muthuwan, V. and Lin, C. K. 1996. Water quality and nutrient budget in intensive shrimp culture pond. Book of abstracts, the 1996 annual meeting of the World Aquaculture Society, Bangkok, Thailand, 29 January - 2 February 1996, pp. 163.

Nakaoka, M. and Aioi, K. 1999. Growth of seagrass *Halophila ovalis* at dugong trails compared to existing within-patch variation in a Thailand intertidal flat. Marine Ecology Progress Series 184: 97–103.

Nelson, D. W. and Sommers, L. E. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. *In* Method of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties, 2nd ed. (eds. Page, A. L., Miller, R. H. and Keeney, D. R.), pp. 539-579. Wisconsin: American Society of Agronomy, Inc. and Soil Science Society of America, Inc.

O' Neill, P. 1993. Environmental Chemistry. (2 nd ed.) London: Chapman and Hall.

Paibulkichakul, C., Ussavauschariyakul, S. and Paibulkichakul, B. 2005. Effect of salinity and light intensity on total nitrogenous compounds uptake efficiency of the green macroalga *Caulerpa lentillifera*. Proceedings of the 31st Congress on Science and Technology of Thailand, Technopolis, Suranaree University of Technology, Nakorn Ratchasima 18-20 October 2005, pp. 302.

Peter, H. D. and Robert, H. C. 1997. Experimental studies on the salinity tolerance of Turtle Grass, *Thalassia testudinum*. *In* Seagrass (ed. Stephen, A. B.). Washington D. C.: Boca Raton Press.

Petersen, J. E., Chen, C. C. and Kemp, W. M. 1997. Scaling aquatic primary productivity: Experiments under nutrient-and light-limited conditions. Ecology 78: 2326-2338.

Poovachiranon, S. 2000. Species composition and the depth distribution of seagrass beds along the Andaman Sea coast of Thailand. Biologia Marina Mediterranea 7: 412-416.

Quevauviller, P. 1995. Quality Assurance in Environmental Monitoring. Weinheim: VCH Press.

Ralph, P. J. 1998. Photosynthetic responses of *Halophila ovalis* (R. Br.) Hook. *f*. to osmotic stress. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 227: 203–220.

Randall, C. W., Barnard, J. L. and Stensel, H. D. 1992. Design and Retrofit of Wastewater Treatment Plants for Biological Nutrient Removal. Lancaster, Pa. (USA): Technomic.

Satumanatpan, S. 2002. Status and Management on Seagrass Resources in Thailand. Bangkok: Chulalongkorn University.

Short, F. T. and McRoy, C. P. 1984. Nitrogen uptake by leaves and roots of the seagrass *Zostera marina* L. Botanica Marina 27: 547–555.

Short, F. T., Dennison, W. C. and Capone, D. G. 1990. Phosphorus limited growth in the tropical seagrass *Syringodium filiforme* in carbonate sediments. Marine Ecology Progress Series 62: 169-174.

Short, F. T., Carruthers, T., Dennison, W. and Waycott, M. 2007. Global seagrass distribution and diversity: A bioregional model. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 350: 3–20.

Short, F. T., Davis, M. W., Gibson, R. A. and Zimmermann, C. F. 1985. Evidence for phosphorus limitation in carbonate sediments of the seagrass *Syringodium filiforme*. Estuarine, Coastal and Shelf Science 20: 419-430.

Short, F. T., Montgomery, J., Zimmermann, C. F. and Short, C. A. 1993. Seasonal seagrass abundance and nutrient dynamics of a *Syringodium filiforme* Kutz. bed in the Indian River Lagoon, Fl, USA. Estuaries 16: 323-334.

Smith, R. D., Pregnall, A. M. and Alberte, R. S. 1988. Effects of anaerobiosis on root metabolism of *Zostera marina* (eelgrass): Implications for survival in reducing sediments. Experimental Marine Biology and Ecology 98: 131–141.

Strickland, J. D. and Parsons, T. R. 1972. A Practical Handbook of Seawater Analysis. (2nd ed.), Ottawa : Fisheries Research Board of Canada Bulletin 167.

Sudara, S., Satumanatpan, S. and Nateekanjanalarp, S. 1992. Seagrasses Fish Fauna in the Gulf of Thailand. Proceedings of the 31st ASEAN Science and Technology Week Conference Proceeding Vol.6, Marine Science: Living Coastal Resources, Singapore, 21-23 September 1992, pp. 301-307.

Terrados, J. and Williams, S. L. 1997. Leaf versus root nitrogen uptake by the surfgrass *Phyllospadix torreyi*. Marine Ecology Progress Series 149: 267–277.

Terrados, J., Agawin, N. S. R., Duarte, C. M., Fortes, M. D., Kamp-Nielsen, L. and Borum, J. 1999. Nutrient limitation of the tropical seagrass *Enhalus acoroides* (L.) Royle in Cape Bolinao, NW Philippines. Aquatic Botany 65: 123-139.

Thacker, A. and Syrett, P. J. 1972. The assimilation of nitrate and ammonium by *Chlamydomonas reinhardi*. New Phytologist 71: 423–433.

Thayer, G. W. 1984. Role of larger herbivores in seagrass communities. Estuaries 7: 351-376.

Touchette, B. W. and Burkholder, J. M. 2000. Review of nitrogen and phosphorus metabolism in seagrasses. Experimental Marine Biology and Ecology 250: 133-167.

Touchette, B. W., Iannacone, L. R., Turner, G. E. and Frank, A. R. 2007. Drought tolerance versus drought avoidance: A comparison of plantwater relations in herbaceous wetland plants subjected to water withdrawal and repletion. Wetlands 27: 656–667.

Turpin, D. H. 1991. Effects of inorganic N availability on algal photosynthesis and carbon metabolism. Journal of Phycology 27: 14–20.

Twilley, R. R. and Barko, J. W. 1990. The growth of submersed macrophytes under experimental salinity and light condition. Estuaries 13: 311-321.

Tyerman, S. D. 1982. Stationary volumetric elastic modulus and osmotic pressure of the leaf cells of *Halophila ovalis*, *Zostera capricorni*, and *Posidonia australis*. Journal of Plant Physiology 69: 957–965.

Tzvelev, N. N. 2006. Family Vodokrasovye (Hydrocharitaceae). Available from http://zr.molbiol.ru/hydrocharitaceae.html. (Accessed on 19 May 2009).

Udy, J. W. and Dennison, W.C. 1997. Growth and physiological responses of three seagrass species to elevated sediment nutrients in Moreton Bay, Australia. Experimental Marine Biology and Ecology 217: 253-277.

Vermaat, J. E., Fortes, M. D., Agawin, N., Duarte, C. M., Marba, N. and Uri, J. 1995. Meadow maintenance, growth and productivity of a mixed Philippine seagrass bed. Marine Ecology Progress Series 124: 215–225.

Viaroli, P., Azzoni, R., Bartoli, M., Giordani, G. and Tajè, L. 2001. Evolution of the trophic conditions and dystrophic outbreaks in the Sacca di Goro lagoon (Northern Adriatic Sea). *In* Mediterranean Ecosystems: Structures and Processes (eds. Faranda, F. M., Guglielmo, L. and Spezie, G.), pp. 443–451. Berlin: Springer.

Walker, D.I. 1989. Seagrass in Shark Bay - the foundations of an ecosystem. *In* Biology of Seagrasses: A Treatise on the Biology of Seagrasses with special reference to the Australian Region (eds. Larkum, A. W. D., McComb, A. J. and Shepherd, S. A.), pp. 182-210. North Holland: Elsevier Amsterdam.

Zimmerman, M. S., Livingston, R. J. and Alberte, S. 1997. Impacts of CO_2 enrichment on productivity and light requirements of Eelgrass. Plant Physical 115: 599-607.

ภาคผนวก

ตารางภาคผนวกที่ 1 น้ำหนักสดของหญ้าใบมะกรูด (กรัม) ที่เลี้ยงในน้ำทะเลความเค็ม 6 ระดับ เมื่อสิ้นสุดการทดลองนาน 10 วัน โดยใช้น้ำหนักเริ่มต้น 20 กรัม

ซ้ำที่	ระดับความเค็ม (ส่วนในพัน)					
	15	20	25	30	35	40
1	15.66	17.77	21.29	22.56	21.73	18.65
2	16.34	17.45	21.21	23.31	21.11	18.96
3	15.67	17.56	21.17	23.06	21.78	19.04
ค่าเฉลี่ย	15.89	17.59	21.22	22.98	21.54	18.88
SE	0.23	0.09	0.04	0.22	0.22	0.12

ตารางภาคผนวกที่ 2 จำนวนใบของหญ้าใบมะกรูดที่เลี้ยงในน้ำทะเลความเค็ม 6 ระดับ เมื่อ สิ้นสุดการทดลองนาน 10 วัน โดยใช้จำนวนใบเริ่มต้น 150 ใบ

ซ้ำที่	ระดับความเค็ม (ส่วนในพัน)					
	15	20	25	30	35	40
1	98.00	128.00	150.00	158.00	159.00	135.00
2	102.00	122.00	155.00	160.00	153.00	137.00
3	100.00	127.00	151.00	159.00	150.00	140.00
ค่าเฉลี่ย	100.00	125.67	152.00	159.00	154.00	137.33
SE	1.15	1.86	1.53	0.58	2.65	1.45

ตารางภาคผนวกที่ 3 ปริมาณไนโตรเจนรวมและฟอสฟอรัสรวม ในน้ำที่มีความเค็ม 15, 20, 25, 30, 35 และ 40 ส่วนในพัน ซึ่งใช้เลี้ยงหญ้าใบมะกรูดเป็นระยะเวลา 10 วัน

ความเค็ม	ไนโตรเจนรวม (มิลลิกรัม/ลิตร)		ฟอสฟอรัสรวม (มิลลิกรัม/ลิตร)	
(ส่วนในพัน)	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด
15	5.36	3.01	1.06	0.62
	5.79	2.97	1.12	0.65
	5.77	3.00	1.08	0.66
ค่าเฉลี่ย	5.64	2.99	1.09	0.64
SE	0.14	0.01	0.02	0.01
20	5.43	2.81	1.04	0.54
	5.44	2.80	1.12	0.57
	5.47	2.87	1.09	0.55
ค่าเฉลี่ย	5.45	2.83	1.08	0.55
SE	0.01	0.02	0.02	0.01
25	5.54	1.83	1.06	0.40
	5.79	1.85	1.07	0.42
	5.80	1.88	1.09	0.41
ค่าเฉลี่ย	5.71	1.85	1.07	0.41
SE	0.09	0.01	0.01	0.01
30	5.76	1.46	1.13	0.20
	5.74	1.34	1.07	0.26
	5.48	1.32	1.07	0.21
ค่าเฉลี่ย	5.66	1.37	1.09	0.22
SE	0.09	0.04	0.02	0.02

ตารางภาคผนวกที่ 3 (ต่อ)

ความเค็ม (ส่วนในพัน)	ไนโตรเจนรวม (มิลลิกรัม/ลิตร)		ฟอสฟอรัสรวม (มิลลิกรัม/ลิตร)	
	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด
35	5.55	1.71	1.06	0.41
	5.44	1.74	1.07	0.47
	5.38	1.70	1.20	0.37
ค่าเฉลี่ย	5.46	1.72	1.11	0.42
SE	0.05	0.01	0.05	0.03
40	5.32	2.51	1.01	0.51
	5.74	2.54	1.07	0.57
	5.00	2.54	1.09	0.57
ค่าเฉลี่ย	5.35	2.53	1.06	0.55
SE	0.21	0.01	0.02	0.02

ตารางภาคผนวกที่ 4 น้ำหนักสดของหญ้าใบมะกรูด (กรัม) ที่เลี้ยงในน้ำทะเลซึ่งมีอัตราส่วนของไนโตรเจนรวม : ฟอสฟอรัสรวม 3 ระดับ และแหล่งไนโตรเจน 2 แหล่ง เทียบกับน้ำทะเล (ชุดควบคุม) เมื่อสิ้นสุดเวลา 10 วัน โดยใช้น้ำหนักเริ่มต้น 20 กรัม

	ชุดควบคุม	ไนเตรท-ไนโตรเจน : ฟอสฟอรัส			แอมโมเนีย-ไนโตรเจน : ฟอสฟอรัส		
		4:1	8:1	12:1	4:1	8:1	12:1
1	23.03	18.01	20.25	23.90	14.29	18.54	20.77
2	23.11	16.05	21.10	24.01	13.24	18.21	21.65
3	22.64	16.18	20.41	24.05	14.26	16.98	20.76
ค่าเฉลี่ย	22.93	16.75	20.59	23.99	13.93	17.91	21.06
SE	0.15	0.63	0.26	0.04	0.35	0.47	0.30

ตารางภาคผนวกที่ 5 จำนวนใบของหญ้าใบมะกรูดที่เลี้ยงในน้ำทะเลซึ่งมีอัตราส่วนของไนโตรเจนรวม : ฟอสฟอรัสรวม 3 ระดับ และแหล่งไนโตรเจน 2 แหล่ง เทียบกับน้ำทะเล (ชุดควบคุม) เมื่อสิ้นสุดเวลา 10 วัน โดยใช้จำนวนใบเริ่มต้น 150 ใบ

	ชุดควบคุม	ไนเตรท-ไนโตรเจน : ฟอสฟอรัส			แอมโมเนีย-ไนโตรเจน : ฟอสฟอรัส		
		4:1	8:1	12:1	4:1	8:1	12:1
	155.00	100.00	148.00	159.00	92.00	130.00	147.00
	160.00	96.00	152.00	158.00	93.00	131.00	151.00
	156.00	97.00	150.00	160.00	95.00	125.00	148.00
ค่าเฉลี่ย	157.00	97.67	150.00	159.00	93.33	128.67	148.67
SE	1.53	1.20	1.15	0.58	0.88	1.86	1.20

ตารางภาคผนวกที่ 6 องค์ประกอบของดินและปริมาณอินทรีย์สารในตะกอนดิน จากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่มีอัตราการปล่อยต่างๆและชุดควบคุม (ดินจากแหล่งที่เก็บหญ้าทะเล)

แหล่งดิน	Clay (%)		Silt (%)		Sand (%)		อินทรีย์สาร (%)	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
ชุดควบคุม	9.70	8.18	2.77	3.82	87.53	88.00	1.07	0.82
	4.32	6.03	5.13	5.98	90.55	87.99	0.95	0.77
	10.87	8.30	5.12	5.30	84.01	86.40	1.22	0.81
ค่าเฉลี่ย	8.30	7.50	4.34	5.03	87.36	87.46	1.08	0.80
SE	2.02	0.74	0.79	0.64	1.89	0.53	0.08	0.02
80,000	37.48	32.01	20.11	20.78	47.41	47.21	6.81	5.21
(ตัว/ไร่)	30.15	30.20	19.58	19.50	50.27	50.30	5.55	5.04
	30.34	30.53	15.94	16.92	53.72	52.55	5.01	4.95
ค่าเฉลี่ย	32.66	30.91	18.54	19.07	50.47	50.02	5.79	5.07
SE	0.75	0.56	1.31	1.14	1.82	1.55	0.53	0.08

ตารางภาคผนวกที่ 6 (ต่อ)

แหล่งดิน	Clay (%)		Silt (%)		Sand (%)		อินทรีย์สาร (%)	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
100,000	31.11	32.57	28.17	21.65	40.72	45.78	7.52	7.55
(ตัว/ไร่)	34.15	33.88	21.06	22.11	44.79	44.01	7.59	7.27
	37.41	36.75	30.23	29.52	32.36	33.73	7.31	7.00
ค่าเฉลี่ย	34.22	34.40	26.49	24.43	39.29	41.17	7.47	7.27
SE	1.82	1.23	2.78	2.55	3.66	3.76	0.08	0.16
150,000	34.28	33.19	37.73	39.01	27.99	27.80	9.43	10.01
(ตัว/ไร่)	39.21	39.36	31.07	31.11	29.72	29.53	10.57	10.53
	37.95	36.75	40.22	39.98	21.83	23.27	10.01	9.91
ค่าเฉลี่ย	37.15	36.43	36.34	36.70	26.51	26.87	10.00	10.15
SE	1.48	1.79	2.73	2.81	2.39	1.87	0.33	0.19

ตารางภาคผนวกที่ 7 น้ำหนักสดของหญ้าใบมะกรูด (กรัม) ที่ปลูกในดินจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่มีอัตราการปล่อยแตกต่างกันด้วยระยะเวลา 10 วัน โดยใช้น้ำหนักเริ่มต้น 20 กรัม

ซ้ำที่	ชุดควบคุม	อัตราการปล่อยกุ้งขาว (ตัว/ไร่)		
		80000	100000	150000
1	24.03	21.22	20.11	17.00
2	23.11	22.04	19.89	17.45
3	23.64	22.00	19.91	16.99
ค่าเฉลี่ย	23.59	21.75	19.97	17.15
SE	0.27	0.27	0.07	0.15

ตารางภาคผนวกที่ 8 จำนวนใบของหญ้าใบมะกรูดที่ปลูกในดินจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่มีอัตราการปล่อยแตกต่างกันด้วยระยะเวลา 10 วัน โดยใช้จำนวนใบเริ่มต้น 150 ใบ

ซ้ำที่	ชุดควบคุม	อัตราการปล่อยกุ้งขาว (ตัว/ไร่)		
		80000	100000	150000
1	159.00	160.00	150.00	116.00
2	160.00	157.00	143.00	114.00
3	164.00	158.00	144.00	120.00
ค่าเฉลี่ย	161.00	158.33	145.67	116.67
SE	1.53	0.88	2.19	1.76

ตารางภาคผนวกที่ 9 คุณภาพน้ำจากแหล่งเก็บหญ้าทะเล (ชุดควบคุม) และน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่มีอัตราการปล่อยกุ้งขาวต่างกัน

แหล่งน้ำ	ความเค็ม (ppt)	สารแขวนลอย (มก./ล.)	แอมโมเนีย (มก./ล.)	ไนไตรท์ (มก./ล.)	ไนเตรท (มก./ล.)	ฟอสเฟต (มก./ล.)
ชุดควบคุม	29.00	3.01	0.03	0.01	0.02	0.00
	30.00	2.43	0.03	0.02	0.03	0.01
	30.00	2.51	0.03	0.02	0.02	0.01
ค่าเฉลี่ย	29.67	2.65	0.03	0.02	0.02	0.00
SE	0.33	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00
80,000	25.00	83.00	0.03	0.03	1.77	0.04
(ตัว/ไร่)	27.00	96.00	0.07	0.03	2.57	0.06
	26.00	92.55	0.04	0.28	2.15	0.04
ค่าเฉลี่ย	26.00	90.52	0.05	0.11	2.16	0.05
SE	0.58	3.89	0.01	0.08	0.23	0.01

ตารางภาคผนวกที่ 9 (ต่อ)

แหล่งน้ำ	ความเค็ม (ppt)	สารแขวนลอย (มก./ล.)	แอมโมเนีย (มก./ล.)	ไนไตรท์ (มก./ล.)	ไนเตรท (มก./ล.)	ฟอสเฟต (มก./ล.)
100,000	25.00	123.76	0.04	0.03	2.57	0.03
(ตัว/ไร่)	27.00	120.44	0.09	0.04	2.92	0.07
	25.00	126.33	0.63	0.36	2.75	0.05
ค่าเฉลี่ย	25.67	123.51	0.25	0.14	2.75	0.05
SE	0.67	1.70	0.19	0.11	0.10	0.01
150,000	26.00	130.04	0.08	0.03	2.78	0.07
(ตัว/ไร่)	27.00	117.05	0.11	0.07	3.11	0.08
	26.00	126.89	0.88	0.51	2.91	0.05
ค่าเฉลี่ย	26.33	124.66	0.36	0.20	2.93	0.07
SE	0.33	3.91	0.26	0.15	0.09	0.01

ตารางภาคผนวกที่ 10 ปริมาณสารแขวนลอย (มิลลิกรัม/ลิตร) ที่ตรวจวัดได้ในน้ำที่ใช้เลี้ยงหญ้าใบมะกรูดด้วยความหนาแน่น 0 (ชุดควบคุม), 5, 10, 15 และ 20 กรัม/ลิตร ในวันที่ 0, 1, 3, 5, 7 และ 15

	วันที่ 0					วันที่ 1					วันที่ 3				
ซ้ำที่	control	5	10	15	20	control	5	10	15	20	control	5	10	15	20
1	80.30	82.39	81.45	81.34	81.66	80.30	82.39	81.45	81.34	81.66	75.54	75.43	73.22	57.22	51.13
2	81.12	81.23	82.21	81.02	80.12	81.12	81.23	82.21	81.02	80.12	73.11	73.78	60.76	61.43	50.12
3	81.61	81.66	83.01	79.43	82.44	82.61	82.66	82.01	80.43	80.44	77.00	67.01	62.34	63.55	62.00
ค่าเฉลี่ย	81.01	81.76	82.22	80.59	81.40	81.34	82.09	81.89	80.93	80.74	75.22	72.07	65.44	60.73	54.42
SE	0.38	0.34	0.45	0.59	0.68	0.68	0.44	0.23	0.27	0.47	1.13	2.58	3.92	1.86	3.80

	วันที่ 5					วันที่ 7					วันที่ 15				
ซ้ำที่	control	5	10	15	20	control	5	10	15	20	control	5	10	15	20
1	59.01	50.12	47.66	40.32	39.15	37.98	29.99	26.13	25.54	26.32	23.00	12.34	11.34	13.67	12.89
2	70.90	59.56	47.79	40.11	36.74	38.51	27.16	27.55	24.67	25.78	18.00	13.34	13.56	11.45	12.56
3	65.10	51.33	46.34	42.34	37.11	39.15	27.10	30.010	25.01	23.88	19.01	12.45	12.78	11.44	11.98
ค่าเฉลี่ย	65.00	53.67	47.26	40.92	37.67	38.55	28.08	27.90	25.07	25.33	20.00	12.71	12.56	12.19	12.48
SE	3.43	2.97	0.46	0.71	0.75	0.34	0.95	1.13	0.25	0.74	1.53	0.32	0.65	0.74	0.27

ตารางภาคผนวกที่ 11 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (มิลลิกรัม/ลิตร) ที่ตรวจวัดได้ในน้ำที่ใช้เลี้ยงหญ้าใบมะกรูดด้วยความหนาแน่น 0 (ชุดควบคุม), 5, 10, 15 และ 20 กรัม/ลิตร ในวันที่ 0, 1, 3, 5, 7 และ 15

	วันที่ 0					วันที่ 1					วันที่ 3				
ซ้ำที่	control	5	10	15	20	control	5	10	1.5	20	control	5	10	15	20
1	8.01	8.30	8.20	8.00	8.40	8.00	8.30	8.20	8.00	8.30	7.20	7.20	7.30	6.90	7.00
2	8.02	8.40	8.00	8.10	8.10	8.00	8.00	8.30	8.30	8.00	7.40	7.00	7.10	7.20	7.10
3	8.10	8.30	8.00	8.00	8.20	8.00	8.30	8.00	8.20	8.20	7.30	7.30	7.00	7.20	7.20
ค่าเฉลี่ย	8.04	8.33	8.07	8.03	8.23	8.000	8.20	8.17	8.17	8.17	7.30	7.17	7.13	7.10	7.10
SE	0.03	0.03	0.07	0.03	0.09	0.00	0.10	0.09	0.09	0.09	0.06	0.09	0.09	0.10	0.06

	วันที่ 5					วันที่ 7					วันที่ 15				
ซ้ำที่	control	5	10	15	20	control	5	10	15	20	control	5	10	15	20
1	5.90	5.20	5.10	5.00	5.70	5.60	4.40	4.30	4.00	3.40	5.60	3.00	2.90	3.00	3.10
2	6.10	5.70	5.30	5.10	4.60	5.60	4.20	4.20	3.60	3.20	5.70	3.10	3.00	2.70	2.80
3	6.00	5.50	5.00	5.20	4.50	5.900	4.20	4.00	3.50	3.20	5.50	3.10	3.20	2.80	2.90
ค่าเฉลี่ย	5.00	5.47	5.13	5.10	4.93	5.70	4.27	4.17	3.70	3.27	5.60	3.07	3.03	2.83	2.93
SE	0.06	0.15	0.09	0.06	0.39	0.12	0.07	0.09	0.15	0.07	0.15	0.033	0.09	0.09	0.09

ตารางภาคผนวกที่ 12 ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (มิลลิกรัม/ลิตร) ที่ตรวจวัดได้ในน้ำที่ใช้เลี้ยงหญ้าใบมะกรูดด้วยความหนาแน่น 0 (ชุดควบคุม), 5, 10, 15 และ 20 กรัม/ลิตร ในวันที่ 0, 1, 3, 5, 7 และ 15

ซ้ำที่	วันที่ 0					วันที่ 1					วันที่ 3				
	control	5	10	15	20	control	5	10	15	20	control	5	10	15	20
1	0.069	0.057	0.071	0.057	0.063	0.062	0.061	0.064	0.049	0.061	0.058	0.034	0.045	0.032	0.031
2	0.073	0.079	0.067	0.068	0.062	0.056	0.061	0.058	0.056	0.045	0.047	0.047	0.040	0.040	0.049
3	0.058	0.070	0.067	0.077	0.071	0.063	0.055	0.051	0.070	0.069	0.038	0.047	0.034	0.038	0.047
ค่าเฉลี่ย	0.066	0.069	0.068	0.067	0.065	0.060	0.059	0.058	0.058	0.058	0.048	0.042	0.040	0.037	0.042
SE	0.005	0.006	0.001	0.006	0.003	0.002	0.002	0.003	0.006	0.007	0.006	0.005	0.003	0.003	0.06

ซ้ำที่	วันที่ 5					วันที่ 7					วันที่15				
	control	5	10	15	20	control	5	10	15	20	control	5	10	15	20
1	0.046	0.026	0.030	0.023	0.021	0.035	0.020	0.022	0.012	0.012	0.030	0.018	0.000	0.015	0.020
2	0.040	0.035	0.023	0.021	0.023	0.033	0.019	0.021	0.015	0.021	0.029	0.019	0.021	0.008	0.015
3	0.033	0.021	0.024	0.019	0.025	0.032	0.027	0.017	0.017	0.017	0.031	0.016	0.009	0.015	0.008
ค่าเฉลี่ย	0.040	0.028	0.026	0.021	0.023	0.034	0.022	0.020	0.015	0.017	0.030	0.018	0.017	0.013	0.014
SE	0.004	0.004	0.002	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	0.004	0.002	0.003

ตารางภาคผนวกที่ 13 ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน (มิลลิกรัม/ลิตร) ที่ตรวจวัดได้ในน้ำที่ใช้เลี้ยงหญ้าใบมะกรูดด้วยความหนาแน่น 0 (ชุดควบคุม), 5, 10, 15 และ 20 กรัม/ลิตรในวันที่ 0, 1, 3, 5, 7 และ 15

	วันที่ 0					วันที่ 1					วันที่ 3				
ซ้ำที่	control	5	10	15	20	control	5	10	15	20	control	5	10	15	20
1	2.625	2.261	2.140	2.212	2.612	2.610	2.210	2.194	2.189	2.485	2.491	2.017	2.054	2.052	2.151
2	2.400	2.591	2.611	2.414	2.587	2.210	2.093	2.395	2.145	2.319	2.487	2.119	2.153	2.051	2.101
3	2.212	2.611	2.610	2.608	2.111	2.610	2.610	2.594	2.597	2.501	2.393	2.064	2.051	2.005	2.083
ค่าเฉลี่ย	2.412	2.488	2.454	2.411	2.437	2.477	2.304	2.395	2.311	2.435	2.457	2.067	2.086	2.036	2.112
SE	0.120	0.113	0.157	0.114	0.163	0.134	0.157	0.116	0.144	0.058	0.032	0.029	0.034	0.016	0.020
	วันที่ 5					วันที่ 7					วันที่15				
ซ้ำที่	control	5	10	15	20	control	5	10	15	20	control	5	10	15	20
1	2.391	1.329	1.520	1.186	1.254	2.229	1.054	1.094	1.187	0.841	2.201	0.885	0.820	0.519	0.703
2	2.474	1.421	1.321	1.398	1.055	2.329	1.044	1.124	1.074	1.004	2.082	1.001	1.120	0.886	0.504
3	2.373	1.531	1.505	1.579	1.320	2.294	1.094	1.031	1.013	0.803	2.112	0.944	0.912	1.246	1.010
ค่าเฉลี่ย	2.413	1.427	1.448	1.388	1.210	2.284	1.064	1.083	1.091	0.882	2.132	0.943	0.951	0.884	0.739
SE	0.031	0.058	0.064	0.114	0.080	0.029	0.015	0.027	0.051	0.061	0.036	0.034	0.089	0.210	0.147

ตารางภาคผนวกที่ 14 ปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจน (มิลลิกรัม/ลิตร) ที่ตรวจวัดได้ในน้ำที่ใช้เลี้ยงหญ้าใบมะกรูดด้วยความหนาแน่น 0 (ชุดควบคุม), 5, 10, 15 และ 20 กรัม/ลิตร ในวันที่ 0, 1, 3, 5, 7 และ 15

	วันที่ 0					วันที่ 1					วันที่ 3				
ซ้ำที่	control	5	10	15	20	control	5	10	15	20	control	5	10	15	20
1	0.034	0.029	0.032	0.023	0.055	0.031	0.023	0.032	0.015	0.023	0.027	0.028	0.021	0.014	0.025
2	0.032	0.059	0.011	0.055	0.021	0.028	0.026	0.023	0.043	0.032	0.021	0.026	0.025	0.030	0.019
3	0.041	0.020	0.063	0.026	0.032	0.036	0.032	0.027	0.021	0.033	0.040	0.019	0.019	0.023	0.024
ค่าเฉลี่ย	0.036	0.036	0.035	0.035	0.036	0.031	0.027	0.027	0.027	0.029	0.029	0.024	0.022	0.022	0.023
SE	0.003	0.012	0.015	0.010	0.010	0.002	0.002	0.003	0.009	0.003	0.006	0.003	0.002	0.005	0.002

	วันที่ 5					วันที่ 7					วันที่ 15				
ซ้ำที่	control	5	10	15	20	control	5	10	15	20	control	5	10	15	20
1	0.027	0.021	0.018	0.016	0.015	0.032	0.019	0.011	0.013	0.011	0.026	0.014	0.014	0.003	0.010
2	0.031	0.011	0.021	0.017	0.016	0.022	0.013	0.017	0.012	0.007	0.023	0.016	0.013	0.014	0.011
3	0.030	0.030	0.013	0.012	0.012	0.021	0.020	0.013	0.009	0.012	0.017	0.011	0.010	0.010	0.009
ค่าเฉลี่ย	0.029	0.021	0.017	0.015	0.015	0.025	0.017	0.014	0.011	0.010	0.022	0.014	0.012	0.009	0.010
SE	0.001	0.006	0.002	0.002	0.001	0.003	0.002	0.002	0.001	0.002	0.003	0.002	0.001	0.003	0.001

ตารางภาคผนวกที่ 15 ปริมาณออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม/ลิตร) ที่ตรวจวัดได้ในน้ำที่ใช้เลี้ยงหญ้าใบมะกรูดด้วยความหนาแน่น 0 (ชุดควบคุม), 5, 10, 15 และ 20 กรัม/ลิตร ในวันที่ 0, 1, 3, 5, 7 และ 15

	วันที่ 0					วันที่ 1					วันที่ 3				
ซ้ำที่	control	5	10	15	20	control	5	10	15	20	control	5	10	15	20
1	0.060	0.054	0.056	0.063	0.050	0.083	0.057	0.063	0.057	0.053	0.050	0.052	0.065	0.067	0.041
2	0.068	0.066	0.073	0.071	0.058	0.053	0.051	0.053	0.067	0.063	0.077	0.055	0.051	0.041	0.059
3	0.072	0.066	0.061	0.051	0.071	0.067	0.076	0.063	0.060	0.060	0.068	0.056	0.048	0.058	0.060
ค่าเฉลี่ย	0.067	0.062	0.063	0.062	0.060	0.068	0.061	0.060	0.061	0.059	0.065	0.054	0.054	0.055	0.053
SE	0.003	0.004	0.005	0.006	0.006	0.009	0.008	0.003	0.003	0.003	0.008	0.001	0.005	0.008	0.006

	วันที่ 5					วันที่ 7					วันที่ 15				
ซ้ำที่	control	5	10	15	20	control	5	10	15	20	control	5	10	15	20
1	0.056	0.040	0.040	0.039	0.038	0.059	0.030	0.033	0.033	0.051	0.070	0.020	0.028	0.042	0.019
2	0.065	0.035	0.038	0.043	0.037	0.074	0.031	0.043	0.031	0.025	0.051	0.047	0.026	0.027	0.035
3	0.072	0.051	0.043	0.040	0.042	0.046	0.051	0.032	0.044	0.025	0.036	0.030	0.040	0.020	0.029
ค่าเฉลี่ย	0.064	0.042	0.040	0.041	0.039	0.060	0.037	0.036	0.036	0.034	0.052	0.032	0.031	0.030	0.028
SE	0.005	0.005	0.001	0.001	0.001	0.008	0.006	0.003	0.004	0.009	0.010	0.008	0.005	0.006	0.005

ตารางภาคผนวกที่ 16 ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (มิลลิกรัม/ลิตร) ที่ตรวจวัดได้ในชุดควบคุมและน้ำที่ใช้เลี้ยงหญ้าใบมะกรูดด้วยความหนาแน่น 20 กรัม/ลิตร ในวันที่ 0, 3, 5, 7, 9 และ 11

ซ้ำที่	วันที่ 0		วันที่ 3		วันที่ 5		วันที่ 7		วันที่ 9		วันที่ 11	
	control	20	control	20	control	20	control	20	control	20	control	20
1	0.069	0.063	0.034	0.027	0.053	0.035	0.053	0.042	0.056	0.040	0.020	0.018
2	0.073	0.062	0.043	0.044	0.033	0.025	0.053	0.061	0.053	0.060	0.019	0.064
3	0.058	0.071	0.036	0.037	0.023	0.023	0.052	0.017	0.043	0.017	0.031	0.021
ค่าเฉลี่ย	0.066	0.065	0.038	0.036	0.036	0.028	0.053	0.040	0.051	0.039	0.024	0.034
SE	0.005	0.003	0.003	0.005	0.009	0.003	0.001	0.013	0.004	0.013	0.004	0.015

ตารางภาคผนวกที่ 17 ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน (มิลลิกรัม/ลิตร) ที่ตรวจวัดได้ในชุดควบคุมและน้ำที่ใช้เลี้ยงหญ้าใบมะกรูดด้วยความหนาแน่น 20 กรัม/ลิตร ในวันที่ 0, 3, 5, 7, 9 และ 11

	วันที่ 0		วันที่ 3		วันที่ 5		วันที่ 7		วันที่ 9		วันที่ 11	
ซ้ำที่	control	20	control	20	control	20	control	20	control	20	control	20
1	2.625	2.612	2.491	2.151	2.391	1.953	2.200	2.941	2.201	1.700	2.182	0.503
2	2.400	2.587	1.487	2.101	1.763	2.055	2.320	0.580	2.082	1.455	2.058	42.000
3	2.212	2.111	2.393	2.083	2.373	2.320	2.090	2.803	2.112	3.000	2.102	0.061
ค่าเฉลี่ย	2.412	2.437	2.124	2.112	2.176	2.109	2.203	2.108	2.132	2.052	2.114	14.188
SE	0.120	0.163	0.320	0.020	0.207	0.110	0.066	0.766	0.036	0.480	0.036	13.923

ตารางภาคผนวกที่ 18 ปริมาณออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม/ลิตร) ที่ตรวจวัดได้ในชุดควบคุมและน้ำที่ใช้เลี้ยงหญ้าใบมะกรูดด้วยความหนาแน่น 20 กรัม/ลิตร ในวันที่ 0, 3, 5, 7, 9 และ 11

	วันที่ 0		วันที่ 3		วันที่ 5		วันที่ 7		วันที่ 9		วันที่ 11	
ซ้ำที่	control	20	control	20	control	20	control	20	control	20	control	20
1	0.050	0.015	0.053	0.011	0.062	0.010	0.098	0.024	0.052	0.011	0.026	0.010
2	0.068	0.016	0.056	0.007	0.057	0.011	0.031	0.011	0.082	0.007	0.023	0.011
3	0.072	0.012	0.070	0.012	0.073	0.009	0.076	0.008	0.021	0.012	0.017	0.009
ค่าเฉลี่ย	0.064	0.015	0.060	0.010	0.064	0.010	0.068	0.015	0.052	0.010	0.022	0.010
SE	0.007	0.001	0.005	0.002	0.005	0.001	0.020	0.005	0.018	0.002	0.003	0.001

ตารางภาคผนวกที่ 19 น้ำหนักสดและจำนวนใบของหญ้าใบมะกรูดที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อลี้ยงในน้ำที่มีความเค็ม 15, 20, 25, 30, 35 และ 40 ส่วนในพัน เป็นระยะเวลา 10 วัน (ค่าเฉลี่ย ±SE, n=3)

ความเค็ม (ส่วนในพัน)	การเจริญเติบโต (%)	
	น้ำหนักสด	จำนวนใบ
15	-20.55±1.13^{e}	-33.33±0.77^{e}
20	-12.03±0.47^{d}	-16.22±1.24^{d}
25	6.12±0.18^{b}	1.33±1.01^{b}
30	14.88±1.10^{a}	6.00±0.39^{a}
35	7.70±1.08^{b}	2.67±1.76^{ab}
40	-5.58±0.59^{c}	-8.45±0.97^{c}

ในแนวตั้งค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโต (น้ำหนักสดและจำนวนใบ) ที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ 20 ปริมาณไนโตรเจนรวมและฟอสฟอรัสรวม ในน้ำที่มีความเค็ม 15, 20, 25, 30, 35 และ 40 ส่วนในพัน ซึ่งใช้เลี้ยงหญ้าใบมะกรูดเป็นระยะเวลา 10 วัน (ค่าเฉลี่ย±SE, n=3)

ความเค็ม	ไนโตรเจนรวม (มิลลิกรัม/ลิตร)		ฟอสฟอรัสรวม (มิลลิกรัม/ลิตร)	
(ส่วนในพัน)	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด
15	5.64±0.14^{a}	2.99±0.01^{a}	1.09±0.02^{a}	0.64±0.01^{a}
20	5.46±0.01^{a}	2.83±0.02^{b}	1.08±0.02^{a}	0.55±0.01^{b}
25	5.71±0.09^{a}	1.85±0.01^{d}	1.07±0.01^{a}	0.41±0.01^{c}
30	5.66±0.09^{a}	1.37±0.04^{f}	1.09±0.02^{a}	0.22±0.03^{d}
35	5.46±0.05^{a}	1.72±0.01^{e}	1.11±0.05^{a}	0.42±0.02^{c}
40	5.35±0.21^{a}	2.53±0.01^{c}	1.06±0.02^{a}	0.55±0.03^{b}

ในแนวตั้งค่าเฉลี่ยปริมาณไนโตรเจนรวมและฟอสฟอรัสรวมที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ 21 น้ำหนักสด และจำนวนใบของหญ้าใบมะกรูดที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อเลี้ยงในน้ำทะเลซึ่งมีอัตราส่วนของไนโตรเจนรวม : ฟอสฟอรัสรวม 3 ระดับ และแหล่งไนโตรเจน 2 แหล่งเทียบกับน้ำทะเล เมื่อสิ้นสุดเวลา 10 วัน (ค่าเฉลี่ย±SE, n=3)

แหล่งไนโตรเจน	อัตราส่วน (TN:TP)	การเจริญเติบโต (%)	
		น้ำหนักสด	จำนวนใบ
แหล่งน้ำธรรมชาติ	15:1	14.63±0.73[a]	4.67±1.02[a]
ไนเตรท	4:1	-16.27±3.16[d]	-34.89±0.80[d]
	8:1	2.93±1.31[b]	0.00±0.77[b]
	12:1	19.93±0.22[a]	6.00±0.39[a]
แอมโมเนีย	4:1	-30.35±1.73[e]	-37.78±0.59[e]
	8:1	-10.45±2.37[c]	-14.22±1.24[c]
	12:1	5.30±1.48[b]	-0.89±0.80[b]

ในแนวตั้งค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโต (น้ำหนักสดและจำนวนใบ) ที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ 22 องค์ประกอบของดินและปริมาณอินทรีย์สารในตะกอนดิน จากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่มีอัตราการปล่อย 80,000, 100,000, 150,000 ตัว/ไร่ และชุดควบคุม (ดินจากแหล่งที่เก็บหญ้าทะเล) (ค่าเฉลี่ย±SE, n=3)

แหล่งดิน	ก่อนเริ่มและหลังการทดลอง	ปริมาณอินทรีย์สาร (%)	องค์ประกอบของดินและประเภทของดิน			
			Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)	Soil structure
ชุดควบคุม	ก่อน	1.08±0.08^{d}	8.30±2.02^{c}	4.34±0.79^{d}	87.36±1.89^{a}	Sand
	หลัง	0.80±0.02^{d}	7.50±0.74^{c}	5.03±10.64^{c}	87.46±0.53^{a}	
อัตราการปล่อย 80, 000 ตัว/ไร่	ก่อน	5.79±0.53^{c}	30.99±0.75^{b}	18.54±1.31^{c}	50.47±1.82^{b}	Sandy Clay Loam
	หลัง	5.07±0.08^{c}	30.91±0.56^{b}	19.07±1.14^{b}	50.02±155^{b}	
อัตราการปล่อย 100, 000 ตัว/ไร่	ก่อน	7.47±0.08^{b}	34.22±1.82^{ab}	26.49±2.78^{b}	39.29±3.66^{c}	Clay Loam
	หลัง	7.27±0.16^{b}	34.40±1.23^{ab}	24.43±2.55^{b}	41.17±3.76^{c}	
อัตราการปล่อย 150, 000 ตัว/ไร่	ก่อน	10.00±0.33^{a}	37.15±1.48^{a}	36.34±2.73^{a}	26.51±2.39^{d}	Clay Loam
	หลัง	9.98±0.19^{a}	36.43±1.79^{a}	36.70±2.81^{a}	26.87±1.87^{d}	

ในแนวตั้งค่าเฉลี่ยระยะเวลาเดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ 23 น้ำหนักสดและจำนวนใบของหญ้าใบมะกรูดที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อปลูกในดินจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่มีอัตราการปล่อยกุ้งขาว 80,000, 100,000, 150,000 ตัว/ไร่ และดินจากแหล่งที่เก็บหญ้าใบมะกรูด เมื่อเวลาผ่านไป 10 วัน (ค่าเฉลี่ย±SE, n=3)

แหล่งดิน	การเจริญเติบโต (%)	
	น้ำหนักสด	จำนวนใบ
แหล่งดินธรรมชาติ	17.97±1.33[a]	7.33±1.02[a]
80,000 (ตัว/ไร่)	8.77±1.33[b]	5.56±0.59[a]
100,000 (ตัว/ไร่)	-0.15±0.35[c]	-2.89±1.46[b]
150,000 (ตัว/ไร่)	-14.27±0.76[d]	-22.22±1.18[c]

ในแนวตั้งค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโต (น้ำหนักสดและจำนวนใบ) ที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ 24 คุณภาพน้ำจากแหล่งเก็บหญ้าทะเลและน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่มีอัตราการปล่อยกุ้งขาว 80,000, 100,000 และ 150,000 ตัว/ไร่ ซึ่งตรวจวัดก่อนใช้เลี้ยงหญ้าใบมะกรูด (ค่าเฉลี่ย±SE n=3)

คุณภาพน้ำ	น้ำจากแหล่งเก็บหญ้าทะเล	น้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้ง		
	(ชุดควบคุม)	80,000 ตัว/ไร่	100,000 ตัว/ไร่	150,000 ตัว/ไร่
ความเค็ม (ส่วนในพัน)	29.67±0.33[a]	26.00±0.58[b]	25.67+0.67[b]	26.33±0.33[b]
สารแขวนลอย (มก./ล.)	2.65±1.18[c]	90.52±3.89[b]	123.51±1.70[a]	124.66±3.91[a]
แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (มก./ล.)	0.03±0.00[a]	0.05±0.01[a]	0.25±0.19[a]	0.36±0.26[a]
ไนไตรท์-ไนโตรเจน (มก./ล.)	0.02±0.00[a]	0.11±0.08[a]	0.14±0.11[a]	0.20±0.15[a]
ไนเตรท-ไนโตรเจน (มก./ล.)	0.02±0.00[c]	2.16±0.23[b]	2.75±0.10[a]	2.93±0.09[a]
ออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส (มก./ล.)	0.00±0.00[b]	0.05±0.01[a]	0.05±0.01[a]	0.07±0.01[a]

ในแนวนอนค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ 25 ประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจน, ไนเตรท-ไนโตรเจน, ไนไตรท์-ไนโตรเจน และออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส ของหญ้าใบมะกรูดด้วยความหนาแน่น 5, 10, 15 และ 20 กรัม/ลิตร เป็นเวลา 15 วัน (ค่าเฉลี่ย±SE n=3)

คุณภาพน้ำทิ้ง	ความหนาแน่นของหญ้า (กรัม/ลิตร) **	ประสิทธิภาพการบำบัด (%) *				
		วันที่ 1	วันที่ 3	วันที่ 5	วันที่ 7	วันที่ 15
แอมโมเนีย-ไนโตรเจน	5	3.31±9.72[a]	7.25±8.84[a]	18.13±10.28[a]	-1.59±21.98[a]	5.27±12.26[a]
	10	6.63±4.21[a]	11.35±1.06[a]	18.42±3.88[a]	6.51±6.45[a]	5.55±15.00[a]
	15	4.50±2.48[a]	16.33±5.02[a]	25.21±6.91[a]	13.97±10.77[a]	-0.50±20.69[a]
	20	2.05±8.14[a]	4.06±17.21[a]	27.38±6.16[a]	12.85±10.08[a]	-17.02±34.06[a]
		วันที่ 1	วันที่ 3	วันที่ 5	วันที่ 7	วันที่ 15
ไนเตรท-ไนโตรเจน	5	9.87±6.06[abc]	8.66±6.41[bc]	29.17±2.58[a]	19.91±2.35[ab]	-5.23±9.31[c]
	10	4.82±3.21[b]	11.67±4.36[b]	28.63±4.12[a]	19.47±5.05[ab]	5.66±7.14[b]
	15	6.90±3.48[a]	10.34±5.85[a]	29.97±6.05[a]	14.30±10.52[a]	10.27±22.89[a]
	20	1.61±8.84[a]	12.38±2.11[a]	40.92±3.83[a]	20.30±10.56[a]	6.82±21.87[a]

* ในแนวนอนค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการบำบัดแต่ละความหนาแน่นของหญ้าใบมะกรูดแต่ละวันที่กำกับด้วยอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

** ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ระหว่างประสิทธิภาพในการบำบัดด้วยความหนาแน่นของหญ้าใบมะกรูดที่แตกต่างกันในวันเดียวกัน

ตารางภาคผนวกที่ 25 (ต่อ)

คุณภาพน้ำทิ้ง	ความหนาแน่นของหญ้า (กรัม/ลิตร) **	ประสิทธิภาพการบำบัด (%) *				
		วันที่ 1	วันที่ 3	วันที่ 5	วันที่ 7	วันที่ 15
ไนไตรท์-ไนโตรเจน	5	-8.35±34.31[a]	-0.16±18.28[a]	8.27±34.40[a]	-5.57±14.89[a]	4.07±20.31[a]
	10	-31.21±48.76[a]	11.98±13.64[a]	20.62±5.50[a]	5.52±11.23[a]	-5.56±16.86[a]
	15	11.39±4.81[a]	2.67±11.54[a]	25.62±20.00[a]	10.59±3.09[a]	4.38±30.31[a]
	20	13.00±31.98[a]	13.28±14.73[a]	35.26±10.16[a]	13.85±16.25[a]	-19.68±25.15[a]
		วันที่ 1	วันที่ 3	วันที่ 5	วันที่ 7	วันที่ 15
ออร์โธฟอสเฟต	5	2.31±11.37[a]	4.67±9.82[a]	21.25±7.92[a]	5.89±7.23[a]	-5.70±29.71[a]
-ฟอสฟอรัส	10	5.51±12.06[a]	3.72±8.09[a]	23.25±8.10[a]	3.72±11.80[a]	-3.44±18.81[a]
	15	0.81±8.48[a]	3.79±16.45[a]	21.11±14.11[a]	4.85±11.15[a]	0.06±23.62[a]
	20	1.93±7.64[a]	5.25±6.74[a]	23.33±9.02[a]	6.65±23.67[a]	-11.08±31.03[a]

* ในแนวนอนค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการบำบัดแต่ละความหนาแน่นของหญ้าใบมะกรูดแต่ละวันที่กำกับด้วยอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

** ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ระหว่างประสิทธิภาพในการบำบัดด้วยความหนาแน่นของหญ้าใบมะกรูดที่แตกต่างกันในวันเดียวกัน

ตารางภาคผนวกที่ 26 ผลการวิเคราะห์ Univariate Analysis of Variance หาอิทธิพลระหว่าง ระดับอัตราส่วนของไนโตรเจนรวม : ฟอสฟอรัสรวม และแหล่งไนโตรเจนต่อน้ำหนักสดของหญ้าใบมะกรูด

Dependent Variable: น้ำนักสด

F	df1	df2	Sig.
3.779	5	12	.027

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	4769.280[a]	5	953.856	84.612	.000
Intercept	417.605	1	417.605	37.044	.000
แหล่งไนโตรเจน	886.205	1	886.205	78.611	.000
อัตราส่วน N:P	3881.898	2	1940.949	172.172	.000
แหล่งไนโตรเจน* อัตราส่วน N:P	1.178	2	.589	.052	.949
Error	135.280	12	11.273		
Total	5322.165	18			
Corrected Total	4904.560	17			

a. R Squared = .972 (Adjusted R Squared = .961)

ตารางภาคผนวกที่ 27 ผลการวิเคราะห์ Univariate Analysis of Variance หาอิทธิพลระหว่างระดับอัตราส่วนของไนโตรเจนรวม : ฟอสฟอรัสรวม และแหล่งไนโตรเจนต่อจำนวนใบของหญ้าใบมะกรูด

Dependent Variable: จำนวนใบ

F	df1	df2	Sig.
1.282	5	12	.334

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	5306.780[a]	5	1061.356	543.732	.000
Intercept	3343.712	1	3343.712	1712.982	.000
แหล่งไนโตรเจน	288.080	1	288.080	147.583	.000
อัตราส่วน N:P	4919.629	2	2459.815	1260.162	.000
แหล่งไนโตรเจน* อัตราส่วน N:P	99.071	2	49.536	25.377	.000
Error	23.424	12	1.952		
Total	8673.916	18			
Corrected Total	5330.204	17			

a. R Squared = .996 (Adjusted R Squared = .994)

ตารางภาคผนวกที่ 28 ผลการวิเคราะห์ Univariate Analysis of Variance หาความผันแปรร่วมระหว่างระยะเวลาในการบำบัดกับความหนาแน่นของหญ้าใบมะกรูดต่อประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจน

Dependent Variable: แอมโมเนีย-ไนโตรเจน

Source		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Intercept	Hypothesis	3719.867	1	3719.867	3.238	.147
	Error	4535.621	3.948	1148.758[a]		
หนาแน่น	Hypothesis	253.946	3	84.649	.974	.437
	Error	1042.992	12	86.916[b]		
วัน	Hypothesis	4604.102	4	1151.026	13.243	.000
	Error	1042.992	12	86.916[b]		
หนาแน่น * วัน	Hypothesis	1042.992	12	86.916	.159	.999
	Error	21911.543	40	547.789[c]		

a. MS (หนาแน่น) + MS (วัน) - MS (หนาแน่น * วัน)

b. MS (หนาแน่น * วัน)

c. MS (Error)

ตารางภาคผนวกที่ 29 ผลการวิเคราะห์ Univariate Analysis of Variance หาความผันแปรร่วมระหว่างระยะเวลาในการบำบัดกับความหนาแน่นของหญ้าใบมะกรูดต่อประสิทธิภาพในการบำบัดไนเตรท-ไนโตรเจน

Dependent Variable: ไนเตรท-ไนโตรเจน

Source		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Intercept	Hypothesis	12304.775	1	12304.775	8.026	.049
	Error	5909.525	3.855	1533.046[a]		
หนาแน่น	Hypothesis	117.436	3	39.145	.587	.635
	Error	799.573	12	66.631[b]		
วัน	Hypothesis	6242.127	4	1560.532	23.420	.000
	Error	799.573	12	66.631[b]		
หนาแน่น * วัน	Hypothesis	799.573	12	66.631	.261	.992
	Error	10223.029	40	255.576[c]		

a. MS (หนาแน่น) + MS (วัน) - MS (หนาแน่น * วัน)

b. MS (หนาแน่น * วัน)

c. MS (Error)

ตารางภาคผนวกที่ 30 ผลการวิเคราะห์ Univariate Analysis of Variance หาความผันแปรร่วมระหว่างระยะเวลาในการบำบัดกับความหนาแน่นของหญ้าใบมะกรูดต่อประสิทธิภาพในการบำบัดไนไตรท์-ไนโตรเจน

Dependent Variable: ไนไตรท์-ไนโตรเจน

Source		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Intercept	Hypothesis	1058.627	1	1058.627	.559	.498
	Error	7139.414	3.771	1893.027[a]		
หนาแน่น	Hypothesis	1266.652	3	422.217	1.049	.406
	Error	4829.271	12	402.439[b]		
วัน	Hypothesis	7492.995	4	1873.249	4.655	.017
	Error	4829.271	12	402.439[b]		
หนาแน่น * วัน	Hypothesis	4829.271	12	402.439	.267	.991
	Error	60342.188	40	1508.555[c]		

a. MS (หนาแน่น) + MS (วัน) - MS (หนาแน่น * วัน)

b. MS (หนาแน่น * วัน)

c. MS (Error)

ตารางภาคผนวกที่ 31 ผลการวิเคราะห์ Univariate Analysis of Variance หาความผันแปรร่วมระหว่างระยะเวลาในการบำบัดกับความหนาแน่นของหญ้าใบมะกรูดต่อประสิทธิภาพในการบำบัดออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส

Dependent Variable: ออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส

Source		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Intercept	Hypothesis	2084.661	1	2084.661	1.761	.257
	Error	4610.032	3.894	1183.944[a]		
หนาแน่น	Hypothesis	14.901	3	4.967	.237	.869
	Error	251.171	12	20.931[b]		
วัน	Hypothesis	4799.633	4	1199.908	57.327	.000
	Error	251.171	12	20.931[b]		
หนาแน่น * วัน	Hypothesis	251.171	12	20.931	.028	1.000
	Error	29556.526	40	738.913[c]		

a. MS (หนาแน่น) + MS (วัน) - MS (หนาแน่น * วัน)

b. MS (หนาแน่น * วัน)

c. MS (Error)

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นางสาวสุทธิวรรณ สุทธิ

รหัสประจำตัวนักศึกษา 4842055

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตรบัณฑิต (ประมง)	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตบางพระ	2547