ผลของสาหร่ายไส้ไก่ (*Ulva intestinalis* Linnaeus) ต่อการหมุนเวียนของสารอาหาร และการสร้างอาหารธรรมชาติในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon* Fabricius) ในบ่อทดลอง

Effects of Gutweed (*Ulva intestinalis* Linnaeus) in Nutrient Cycling and Production of Natural Food in The Culture of Black Tiger Shrimp (*Penaeus monodon* Fabricius) in Microcosms

เพ็ญศรี เมืองเยาว์

Pensri Muangyao

วิทยานิพนธ์นี้สำหรับการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวาริชศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science in Aquatic Science
Prince of Songkla University
2554

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์	ผลของสาหร่ายไส้ไก่ (*Ulva intestinalis* Linnaeus) ต่อการหมุนเวียนของสารอาหารและการสร้างอาหารธรรมชาติในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon* Fabricius) ในบ่อทดลอง
ผู้เขียน	นางสาวเพ็ญศรี เมืองเยาว์
สาขาวิชา	วาริชศาสตร์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมหมาย เชี่ยววารีสัจจะ)

คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สถาพร ดิเรกบุษราคม)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

.....

(ศาสตราจารย์ ดร.เสาวภา อังสุภานิช)

.....

(ดร.พุทธ ส่องแสงจินดา)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมหมาย เชี่ยววารีสัจจะ)

.....กรรมการ

(ดร.พุทธ ส่องแสงจินดา)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.พรศิลป์ ผลพันธิน)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำหรับการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวาริชศาสตร์

.....

(ศาสตราจารย์ ดร.อมรรัตน์ พงศ์ดารา)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์ ผลของสาหร่ายไส้ไก่ (*Ulva intestinalis* Linnaeus) ต่อการหมุนเวียนของสารอาหารและการสร้างอาหารธรรมชาติในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon* Fabricius) ในบ่อทดลอง

ผู้เขียน นางสาวเพ็ญศรี เมืองเยาว์

สาขาวิชา วาริชศาสตร์

ปีการศึกษา 2554

บทคัดย่อ

การศึกษาผลของสาหร่ายไส้ไก่ (*Ulva intestinalis* Linnaeus) ต่อการหมุนเวียนของสารอาหารและการสร้างอาหารธรรมชาติในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) ได้ดำเนินการในบ่อทดลองภายใต้ 2 สภาวะ คือ สภาวะที่มีและไม่มีการรบกวนจากการเลี้ยงกุ้ง การศึกษาภายใต้สภาวะที่ไม่มีการเลี้ยงกุ้ง ดำเนินการทดลองในบ่อน้ำกร่อยจำลองขนาดเล็กที่มีการเตรียมบ่อโดยใส่ดินเลนจากบ่อเลี้ยงกุ้งและน้ำความเค็ม 20 ส่วนในพัน ใช้ระดับน้ำต่ำ 10 ซม. คราดดินเลนสัปดาห์ละ 1 ครั้ง เป็นเวลา 2 สัปดาห์ เพื่อเพิ่มออกซิเจนหน้าดินและให้สารอาหารในดินเลนละลายออกมาในน้ำ แล้วแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ชุดการทดลอง ได้แก่ ชุดไม่ปลูกสาหร่ายไส้ไก่ ชุดปลูกสาหร่ายไส้ไก่ 28 ก./ตร.ม. และชุดปลูกสาหร่ายไส้ไก่ 56 ก./ตร.ม. เพื่อศึกษาผลของสาหร่ายไส้ไก่ต่อตัวแปรไม่มีชีวิต (คุณภาพน้ำและคุณภาพดิน) และตัวแปรมีชีวิต (สิ่งมีชีวิตที่เกิดขึ้น) ผลการศึกษา พบว่า การคราดดินเลนในการเตรียมบ่อช่วยทำให้ดินพื้นบ่อมีการปล่อยสารอาหารออกมาได้ดีและเพียงพอ ทำให้สาหร่ายไส้ไก่เติบโตได้มากถึง 40 เท่า ภายในเวลา 3 สัปดาห์ ทำให้ระบบนิเวศของบ่อที่มีสาหร่ายไส้ไก่มีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ สูงกว่าบ่อที่มีแพลงก์ตอนพืชอย่างเดียว และมีการดูดซับสารอาหารที่ปล่อยออกจากดินเลนพื้นบ่อเลี้ยงกุ้งไปใช้ได้มากกว่า โดยส่งผลต่อเนื่องมายังกิจกรรมการผลิตออกซิเจนจากกระบวนการสังเคราะห์แสงทำให้บ่อที่มีสาหร่ายไส้ไก่มีปริมาณออกซิเจนสูงกว่า และพบว่าในระหว่างการเติบโตของสาหร่ายไส้ไก่ ปริมาณแอมโมเนียและไนเตรทลดลงจนถึงระดับต่ำสุดจึงทำให้สาหร่ายเริ่มมีการตาย ในขณะที่ฟอสฟอรัสในน้ำยังคงมีปริมาณเพิ่มขึ้น ชี้ให้เห็นว่าในการใช้ดินเลนจากบ่อเลี้ยงกุ้งเพื่อปลูกสาหร่ายไส้ไก่ มีไนโตรเจนเป็นปัจจัยจำกัด (limiting factor) การเติบโตและปริมาณสาหร่ายไส้ไก่ที่เกิดขึ้นเปลี่ยนแปลงสัมพันธ์ในเชิงลบกับปริมาณฟอสฟอรัสรวมและแอมโมเนียรวมในดิน ซึ่งหากฟอสฟอรัสและแอมโมเนียไม่สามารถถูกปล่อยออกมาจากดิน สาหร่ายไส้ไก่ที่นำมาปลูกก็ไม่สามารถเติบโตได้ นอกจากนี้-ยังพบสิ่งมีชีวิต ได้แก่ ตัวอ่อนริ้นน้ำจืด ตัวอ่อนยุง ตัวอ่อนโคพิพอด และโคพิพอด โดยเฉพาะโคพิพอดกลุ่มฮาร์แพ็คติคอยด์ จำนวนมากใน

บริเวณที่มีสาหร่ายไส้ไก่เติบโตอยู่ และมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณสาหร่ายไส้ไก่อย่างมีนัยสำคัญ ผลการวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่า สาหร่ายไส้ไก่ที่มีในบ่อเลี้ยงกุ้งสามารถปรับปรุงระบบนิเวศให้มีสภาพแวดล้อมดีขึ้น และช่วยสร้างสิ่งมีชีวิตที่เป็นอาหารธรรมชาติที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตและการเติบโตของลูกกุ้งที่ปล่อยลงเลี้ยง

การศึกษาภายใต้สภาวะที่มีการเลี้ยงกุ้ง เพื่ออธิบายผลของสาหร่ายไส้ไก่ต่อการเติบโตและองค์ประกอบในกระเพาะอาหารของกุ้ง รวมทั้งผลต่อการหมุนเวียนสารอาหารเข้าไปสู่กุ้งกุลาดำที่ปล่อยลงเลี้ยง โดยดำเนินการทดลองในบ่อน้ำกร่อยจำลองขนาดเล็กที่เตรียมบ่อโดยใส่ดินเลนจากบ่อเลี้ยงกุ้งและน้ำความเค็ม 16 ส่วนในพัน ใช้ระดับน้ำต่ำ 5 ซม. คราดดินเลนสัปดาห์ละ 1 ครั้ง เป็นเวลา 2 สัปดาห์ เปรียบเทียบระหว่างระบบการเลี้ยงที่มีรูปแบบการให้อาหารแตกต่างกัน 3 รูปแบบ คือ ไม่ให้อาหารสำเร็จรูป ให้อาหารสำเร็จรูป และไม่ให้อาหารสำเร็จรูปแต่ปลูกสาหร่ายไส้ไก่ความหนาแน่น 27 ก./ตร.ม. เป็นเวลา 2 สัปดาห์ แล้วจึงปล่อยลูกกุ้งกุลาดำระยะโพสต์ลาร์วา 20 น้ำหนักเฉลี่ย 0.013 ก./ตัว ความหนาแน่น 53 ตัว/ตร.ม. ลงเลี้ยงทุกบ่อเป็นเวลา 5 สัปดาห์ พบว่า การเตรียมบ่อโดยวิธีการคราดดินและใช้ระดับน้ำต่ำสามารถสร้างอาหารธรรมชาติภายในบ่อเลี้ยงรองรับการเติบโตของกุ้งได้เป็นเวลา 2 สัปดาห์ โดยไม่จำเป็นต้องให้อาหารสำเร็จรูป ในขณะที่การเตรียมบ่อด้วยวิธีดังกล่าวและปลูกสาหร่ายไส้ไก่สามารถสร้างอาหารธรรมชาติเพิ่มขึ้น รองรับการเติบโตของกุ้งได้เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ปริมาณหนอนแดงในบ่อเลี้ยงมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการเติบโตของกุ้งและกุ้งที่เลี้ยงในระบบที่ไม่ปลูกสาหร่ายไส้ไก่มีพฤติกรรมการกินอาหารบริเวณหน้าดิน แตกต่างจากกุ้งที่เลี้ยงในระบบที่ปลูกสาหร่ายไส้ไก่ที่มีพฤติกรรมหากินในน้ำหรือในบริเวณกอสาหร่ายไส้ไก่มากกว่า ส่วนบ่อที่ให้อาหารสำเร็จรูปการเติบโตของกุ้งสามารถเพิ่มขึ้นหลังจากเลี้ยงไป 4 สัปดาห์ เนื่องจากการให้อาหารสำเร็จรูปอย่างต่อเนื่อง ผลจากการศึกษาดุลไนโตรเจนและฟอสฟอรัสชี้ให้เห็นว่าสาหร่ายไส้ไก่สามารถดูดสารอาหารที่ตกค้างในดินเลนของรอบการผลิตที่ผ่านมา เข้าไปสะสมและเปลี่ยนเป็นอาหารธรรมชาติได้ดี ทำให้ในรอบการผลิตใหม่บ่อที่ปลูกสาหร่ายไส้ไก่มีสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสะสมน้อยกว่า และสามารถหมุนเวียนสารประกอบเหล่านี้กลับไปสู่กุ้งที่เลี้ยงใหม่ผ่านทางผลผลิตธรรมชาติได้มากที่สุด สารอาหารจึงเหลือตกค้างในบ่อน้อยกว่าบ่อที่ไม่มีการปลูกสาหร่ายและไม่ให้อาหารเม็ดสำเร็จรูป ส่วนบ่อเลี้ยงกุ้งที่มีการให้อาหารเม็ดสำเร็จรูป พบว่ามีการสะสมของไนโตรเจนจากอาหารส่วนเกินลงสู่ดิน อีกทั้งยังมีการขับถ่ายไนโตรเจนและฟอสฟอรัสออกมาสู่มวลน้ำสูง และเป็นสาเหตุทำให้คุณภาพน้ำและดินในบ่อเลี้ยงเสื่อมโทรมลง

ดังนั้นการปลูกสาหร่ายไส้ไก่ในบ่อเลี้ยงกุ้งที่มีระดับน้ำต่ำในตอนเริ่มต้นรอบการผลิตกุ้ง อาจเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถฟื้นฟูระบบนิเวศบ่อเลี้ยงกุ้งให้มีความเหมาะสมสำหรับการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ทำให้การเลี้ยงกุ้งมีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและเกิดความยั่งยืนได้

Thesis Title	Effects of gutweed (*Ulva intestinalis* Linnaeus) in nutrient cycling and production of natural food in the culture of black tiger shrimp (*Penaeus monodon* Fabricius) in microcosms
Author	Miss Pensri Muangyao
Major Program	Aquatic Science
Academic Year	2011

Abstract

The studies on the effects of gutweed (*Ulva intestinalis* Linnaeus) in nutrient cycling and production of natural food for cultured black tiger shrimp (*Penaeus monodon*) were conducted in microcosms under two conditions; without shrimp rearing and with shrimp rearing. The effect of gutweed under condition - without shrimp rearing was studied in a brackish water microcosm in which the sludge from shrimp pond was added on the bottom and 20 ppt saline water was added into the microcosm at 10 cm deep. The sludge was stirred once a week for 2 weeks in order to increase oxygen transfer and nutrient release from sludge. Gutweed was grown in the microcosms at two densities; 28 and 56 g/m^2, in comparison with the control without gutweed. The effects of gutweed on changing of abiotic factors (water and sediment qualities) and biotic factors (living organisms) were determined -. The results showed that - raking of the shrimp pond sludge could stimulate releasing of nutrients which was sufficient to promote a growth of gutweed up to 40 times of the initial stocks within 3 weeks resulting in higher chlorophyll *a* than that from phytoplankton and consequently effected in higher uptake of nutrients as well as a higher dissolved oxygen production from photosynthesis. The amounts of ammonia and nitrate were decreased while dissolved phosphorus was increased along with gutweed growth until- died off when the concentrations of ammonia and nitrate were lowest. This indicated that nitrogen is probably a limiting factor for growth of gutweed when sludge from shrimp pond was used as a source of nutrients. The biomass of gutweed was in a negative correlation with the amounts of total phosphorus and total ammonia in sediment indicating that the release of nutrients from sludge is an importance process to promote gutweed growth. Furthermore, the results also found the aggregation of chironomid larvae, mosquito larvae, nauplius of copepods and adult copepod especially

harpacticoid with the densed area of gutweed which these are natural food organisms suitably for support living and growth of the stocked shrimp larvae. The amount of these natural foods significantly showed a positive correlation with the biomass of gutweed. The results from this study indicate that gutweed in shrimp pond effect on changing of shrimp pond ecosystem providing a better environment and shelter of natural food organisms that are suitable for growth of shrimp.

The experiment under shrimp rearing condition was also conducted to explain the effects of gutweeds on growth, stomach contents as well as transformation and budget of nitrogen and phosphorus in black tiger shrimp pond. The experiment was conducted in brackish water microcosms of which the sludge from shrimp pond and 125 liters (depth 5 cm) of brackish water of 16 ppt were added into the microcosms. The sludge was also raked once a week for two weeks in order to increase oxygen transfer and nutrient release from sludge. The experiment was comprised of 3 feeding regimes; without pelleted feed, with commercial pelleted feed, and without pelleted feed but planting gutweed (27 g/m^2 for two weeks). Black tiger shrimp post larvae (PL20; average weight 0.013 g/PL) were stocked into each microcosm at a density of 53 PL/m^2 and cultivated for 5 weeks. The results showed that the raking of the sludge and lowering of water depth could promote the production of natural foods to support shrimp (stocking density of 53 PL/m^2) growth for 2 weeks without supplementary of pelleted feed and shrimps mainly showed a behavior of benthic scavenger. The plantation of gutweed provided additionally more productivity of natural foods to prolonging support shrimp growth for 4 weeks but shrimps changed feeding behavior to be water column scavenger. Moreover, the biomass of chironomid larvae significantly showed a positive correlation with shrimp growth. Shrimp fed with commercial pelleted feed still grew after 4 weeks because of a continuous feeding. The results from the study on transformation and budget of nitrogen and phosphorus showed that the gutweed could take up nutrients released from sludge and transformed to be natural foods. The net accumulation of nitrogen and phosphorus compounds in sediment was the lowest in gutweed plantation shrimp pond but the cycling of nutrients to shrimp production through the natural productivity was the highest. There was nitrogen accumulation from excess feed to sediment in shrimp pond that feeding with commercial pelleted feed and there was higher in excretion of nitrogen and phosphorus from shrimp resulting in degradation of water and sediment qualities in shrimp pond.

Therefore the plantation of gutweed in the shallow water shrimp pond at the beginning of shrimp production cycle is probably one of the alternative ways to rehabilitate the ecosystem of shrimp pond to be suitable for black tiger shrimp culture leading to the environmental sound friendly and sustainability in shrimp culture.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สมหมาย เชี่ยววารีสัจจะ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ศาสตราจารย์ ดร.เสาวภา อังสุภานิช และ ดร.พุทธ ส่องแสงจินดา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้ความรู้ คำแนะนำ และช่วยแก้ไขความบกพร่องในระหว่างทำการวิจัย ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สถาพร ดิเรกบุษราคม ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และรองศาสตราจารย์ ดร.พรศิลป์ ผลพันธิน กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่กรุณาให้คำแนะนำและแก้ไขข้อบกพร่องเพิ่มเติมจนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่สนับสนุนทุนเพื่อทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณคณาจารย์ ภาควิชาวาริชศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ทุกท่านที่ให้ความกรุณาอบรมสั่งสอนให้ความรู้ ตลอดระยะเวลาที่ผู้วิจัยได้ศึกษาทั้งในระดับปริญญาตรีและปริญญาโท ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการและเจ้าหน้าที่สำนักงาน ภาควิชาวาริชศาสตร์ทุกท่านที่ช่วยอำนวยความสะดวกในระหว่างการศึกษาและทดลองวิจัย

ขอขอบคุณ ดร.คมน์ ศิลปาจารย์ และคุณยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง ที่กรุณาให้ใช้สถานที่ และห้องปฏิบัติการของสถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งในการทดลอง และขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่กลุ่มวิจัยการเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง ทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือในการดำเนินการทดลอง ตลอดจน ดร.สุพิศ ทองรอด ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์และเป็นกำลังใจให้กับผู้วิจัยเสมอมา

ขอขอบคุณ คุณดำรง กาญจนเมธากุล ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ดินเลน สาหร่ายไส้ไก่ และลูกกุ้งกุลาดำ และให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการวิจัย ตลอดจนเจ้าหน้าที่ของดำรงฟาร์มทุกท่าน ที่ได้ช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการเตรียมวัตถุดิบสำหรับการทดลอง

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และพี่สาว ที่ให้การอุปการะ ตลอดจนกำลังใจที่สำคัญจากลูกชายและสมาชิกในครอบครัว ตลอดระยะเวลาในการศึกษา จนทำให้ผู้วิจัยสามารถทุ่มเทเวลาให้กับการเรียนจนประสบความสำเร็จในการศึกษาระดับปริญญาโทในครั้งนี้

คุณความดีหรือประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัยฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่บุพการี ผู้มีพระคุณทุกท่านและครูอาจารย์ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ผู้วิจัยมาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน

เพ็ญศรี เมืองเยาว์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
Abstract	(5)
กิตติกรรมประกาศ	(8)
สารบัญ	(9)
รายการตาราง	(12)
รายการรูป	(14)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 บทนำต้นเรื่อง	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
บทที่ 2 ตรวจเอกสาร	4
2.1 การเลี้ยงกุ้งในประเทศไทย	4
- พื้นที่เลี้ยงและปริมาณผลผลิต	4
- รูปแบบการเลี้ยง	7
- ปัญหาและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	7
2.2 การหมุนเวียนสารอาหารในแหล่งน้ำและบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ	8
- การหมุนเวียนไนโตรเจน	9
- การหมุนเวียนฟอสฟอรัส	11
2.3 ระบบนิเวศบ่อเลี้ยงกุ้ง	13
- ตัวแปรมีชีวิต	13
- ตัวแปรไม่มีชีวิต	15
2.4 สาหร่ายไส้ไก่	17
- ชีววิทยา	17
- นิเวศวิทยา	18
2.5 การกินอาหารและองค์ประกอบในกระเพาะอาหารของกุ้ง	19
- องค์ประกอบในกระเพาะอาหารของกุ้งที่พบในธรรมชาติ	19
- องค์ประกอบในกระเพาะอาหารของกุ้งที่เลี้ยงในบ่อ	22

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6 ดุลของสารอาหารในบ่อเลี้ยงกุ้ง	24
- ดุลไนโตรเจน	24
- ดุลฟอสฟอรัส	26
บทที่ 3 ผลของสาหร่ายไส้ไก่ (*Ulva intestinalis* Linnaeus) ต่อการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรไม่มีชีวิต (abiotic factors) ในระบบนิเวศบ่อเลี้ยงกุ้งจำลอง	27
3.1 บทคัดย่อ	27
3.2 Abstract	28
3.3 บทนำ	29
3.4 วัตถุประสงค์	30
3.5 อุปกรณ์และวิธีการ	30
3.6 ผลการทดลอง	34
3.7 วิจารณ์ผลการทดลอง	46
3.8 สรุปผลการทดลอง	48
บทที่ 4 ผลของสาหร่ายไส้ไก่ (*Ulva intestinalis* Linnaeus) ต่อการเปลี่ยนแปลงของ ตัวแปรมีชีวิต (biotic factors) ในระบบนิเวศบ่อเลี้ยงกุ้งจำลอง	49
4.1 บทคัดย่อ	49
4.2 Abstract	50
4.3 บทนำ	51
4.4 วัตถุประสงค์	52
4.5 อุปกรณ์และวิธีการ	52
4.6 ผลการทดลอง	56
4.7 วิจารณ์ผลการทดลอง	63
4.8 สรุปผลการทดลอง	65

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 การเติบโตและองค์ประกอบในกระเพาะอาหารของกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงในสภาวะที่มีอาหารแตกต่างกัน	66
5.1 บทคัดย่อ	66
5.2 Abstract	68
5.3 บทนำ	70
5.4 วัตถุประสงค์	71
5.5 อุปกรณ์และวิธีการ	71
5.6 ผลการทดลอง	76
5.7 วิจารณ์ผลการทดลอง	83
5.8 สรุปผลการทดลอง	86
บทที่ 6 ผลของสาหร่ายไส้ไก่ต่อการหมุนเวียนและดุลไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่มีการให้อาหารแตกต่างกัน 3 รูปแบบ	87
6.1 บทคัดย่อ	87
6.2 Abstract	89
6.3 บทนำ	91
6.4 วัตถุประสงค์	92
6.5 อุปกรณ์และวิธีการ	92
6.6 ผลการทดลอง	100
6.7 วิจารณ์ผลการทดลอง	109
6.8 สรุปผลการทดลอง	112
บทที่ 7 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	113
เอกสารอ้างอิง	119
ภาคผนวก	130
ประวัติผู้เขียน	137

รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	ปริมาณการจับกุ้งทะเลจากธรรมชาติ และจากการเพาะเลี้ยงของประเทศไทย ในระหว่าง ปี 2529 – 2550	5
2-2	ปริมาณ (ตัน) และมูลค่า (ล้านบาท) ของผลผลิตกุ้งกุลาดำและกุ้งขาวแวนนาไมจากการเพาะเลี้ยงของประเทศไทย ปี 2529 – 2550	6
2-3	องค์ประกอบในกระเพาะอาหารของกุ้ง *Penaeus indicus* ในเดือนกรกฎาคม และเดือนธันวาคม ปี ค.ศ. 1994	21
2-4	องค์ประกอบในกระเพาะอาหารของกุ้ง *Penaeus merguiensis* ในเดือนกรกฎาคม และเดือนธันวาคม ปี ค.ศ. 1994	22
3-1	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของอิทธิพลของตัวแปรสาหร่ายไส้ไก่และเวลาต่อการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาณของคุณภาพน้ำในระบบนิเวศบ่อเลี้ยงกุ้ง ในระหว่างการเตรียมดินและการปลูกสาหร่าย	44
3-2	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของอิทธิพลของตัวแปรสาหร่ายไส้ไก่และเวลาต่อการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาณของคุณภาพดินในระบบนิเวศบ่อเลี้ยงกุ้งในระหว่างการเตรียมดินและการปลูกสาหร่าย	45
3-3	ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่สนใจ สาหร่ายไส้ไก่ กับตัวแปรที่มีอิทธิพลประเภท น้ำ และดิน	45
4-1	ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในสาหร่ายไส้ไก่ (A) และในแพลงก์ตอนพืช (B) ในแต่ละชุดการทดลองและสัดส่วนคลอโรฟิลล์ เอ	59
4-2	ปริมาณแพลงก์ตอนสัตว์และสัตว์พื้นใต้น้ำแต่ละชนิดที่พบในช่วงปลูกสาหร่ายที่ระยะเวลาทดลองต่าง ๆ (วัน) และสัดส่วนที่พบในน้ำและในสาหร่ายไส้ไก่	60
4-3	ผลการวิเคราะห์อิทธิพลจากปริมาณสาหร่ายไส้ไก่ที่แตกต่างกันต่อปริมาณแพลงก์ตอนสัตว์และสัตว์พื้นใต้น้ำ และอิทธิพลร่วมของสาหร่ายไส้ไก่และเวลา	62
4-4	ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสาหร่ายไส้ไก่ กับแพลงก์ตอนสัตว์และสัตว์พื้นใต้น้ำ	62

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
5-1	ผลการวิเคราะห์น้ำหนักเฉลี่ยและอัตราการเติบโตเฉลี่ยของกุ้งตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงระยะเวลาเลี้ยง 5 สัปดาห์ โดยใช้วิธีวิเคราะห์แบบ repeated measures (mean ± SD, n=10)	77
5-2	ปริมาณสิ่งมีชีวิตที่พบในน้ำ (แพลงก์ตอนสัตว์ (ตัว/ล.), แพลงก์ตอนพืช และโปรโตซัว (เซลล์/ล.)) และที่หน้าดิน (แพลงก์ตอนพืช (เซลล์/ตร.ม.), สัตว์พื้นใต้น้ำ (ตัว/ตร.ม.)) แต่ละชนิดที่พบในช่วงเลี้ยงกุ้งที่ระยะเวลาต่าง ๆ	80
5-3	ความถี่ที่พบอาหารแต่ละชนิด (Frequency of occurrence) ในกระเพาะอาหารของกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงในสภาวะที่มีอาหารแตกต่างกัน 3 รูปแบบที่ระยะเวลาการเลี้ยง 1-5 สัปดาห์	81
5-4	องค์ประกอบเชิงปริมาณ (numerical composition) ในกระเพาะอาหารของกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงในสภาวะที่มีอาหารแตกต่างกัน 3 รูปแบบที่ระยะเวลาการเลี้ยง 1-5 สัปดาห์	82
5-5	ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอาหารธรรมชาติกับอัตราการเติบโตของกุ้ง	83
6-1	ปริมาณการหมุนเวียนไนโตรเจนในกระบวนการต่างๆ ในบ่อเลี้ยงกุ้งที่มีการให้อาหารแตกต่างกัน 3 รูปแบบในระยะเวลาเลี้ยง 5 สัปดาห์	107
6-2	ปริมาณการหมุนเวียนฟอสฟอรัสในกระบวนการต่างๆ ในบ่อเลี้ยงกุ้งที่มีการให้อาหารแตกต่างกัน 3 รูปแบบในระยะเวลาเลี้ยง 5 สัปดาห์	108

รายการรูป

รูปที่		หน้า
2-1	การหมุนเวียนสารอาหารในระบบการเลี้ยงหอยสองฝา (bivalves)	9
2-2	การหมุนเวียนไนโตรเจนในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ	10
2-3	การหมุนเวียนไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงปูทะเลร่วมกับกุ้งกุลาดำในนากุ้งที่ปลูกป่าโกงกาง	11
2-4	การหมุนเวียนฟอสฟอรัสในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ	12
2-5	ทัลลัสของสาหร่ายไส้ไก่ที่เลี้ยงในบ่อคอนกรีตในโรงเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ	18
2-6	ดุลไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนาระบบเปิดในประเทศไทย	24
2-7	ดุลไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำระบบเปิด (ก) และระบบปิดหมุนเวียน (ข) (ค่า Net accumulation เท่ากับผลต่างของไนโตรเจนในชั้นตะกอนดินลึก 2 ซม. ในช่วงก่อนและหลังการเลี้ยง โดยค่า FCR = 3.8)	25
2-8	ดุลฟอสฟอรัสในบ่อเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนาระบบเปิดในประเทศไทย	26
3-1	การเปลี่ยนแปลงของออกซิเจนละลายในน้ำ (ก) ความเป็นกรด-ด่างของน้ำ (ข) และความเป็นด่างของน้ำ (ค) ในระหว่างการเตรียมดิน (14 วันแรก) และการปลูกสาหร่ายในปริมาณต่างๆ กัน (T1 = ไม่ปลูกสาหร่าย, T2 = ปลูกสาหร่ายปริมาณ 28 ก./ตร.ม. และ T3 = ปลูกสาหร่ายปริมาณ 56 ก./ตร.ม.) ลูกศร ↑ แสดงวันที่คราดดิน	35
3-2	การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบไนโตรเจนในรูปต่าง ๆ ในระหว่างการเตรียมดิน (14 วันแรก) และช่วงปลูกสาหร่าย (T1 = ไม่ปลูกสาหร่าย, T2 = ปลูกสาหร่ายปริมาณ 28 ก./ตร.ม. และ T3 = ปลูกสาหร่ายปริมาณ 56 ก./ตร.ม.) ลูกศร ↑ แสดงวันที่คราดดิน	38
3-3	การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบฟอสฟอรัสในรูปต่าง ในระหว่างการเตรียมดิน (14 วันแรก) และช่วงปลูกสาหร่าย (T1 = ไม่ปลูกสาหร่าย, T2 = ปลูกสาหร่ายปริมาณ 28 ก./ตร.ม. และ T3 = ปลูกสาหร่ายปริมาณ 56 ก./ตร.ม.) ลูกศร ↑ แสดงวันที่คราดดิน	39

รายการรูป (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
3-4	การเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนของไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสในน้ำในระหว่างการเตรียมดิน (14 วันแรก) และช่วงปลูกสาหร่าย (T1 = ไม่ปลูกสาหร่าย, T2 = ปลูกสาหร่ายปริมาณ 28 ก./ตร.ม. และ T3 = ปลูกสาหร่ายปริมาณ 56 ก./ตร.ม.) ลูกศร ↑ แสดงวันที่คราดดิน	39
3-5	การเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารประกอบไนโตรเจนในดินระหว่างการเตรียมดิน (14 วันแรก) และช่วงปลูกสาหร่าย (T1 = ไม่ปลูกสาหร่าย, T2 = ปลูกสาหร่ายปริมาณ 28 ก./ตร.ม. และ T3 = ปลูกสาหร่ายปริมาณ 56 ก./ตร.ม.) ลูกศร ↑ แสดงวันที่คราดดิน	41
3-6	การเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารประกอบฟอสฟอรัสในดินระหว่างการเตรียมดิน(14 วันแรก) และช่วงปลูกสาหร่าย (T1 = ไม่ปลูกสาหร่าย, T2 = ปลูกสาหร่ายปริมาณ 28 ก./ตร.ม. และ T3 = ปลูกสาหร่ายปริมาณ 56 ก./ตร.ม.) ลูกศร ↑ แสดงวันที่คราดดิน	42
3-7	การเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสในดินระหว่างการเตรียมดิน(14 วันแรก) และช่วงปลูกสาหร่าย (T1 = ไม่ปลูกสาหร่าย, T2 = ปลูกสาหร่ายปริมาณ 28 ก./ตร.ม. และ T3 = ปลูกสาหร่ายปริมาณ 56 ก./ตร.ม.) ลูกศร ↑ แสดงวันที่คราดดิน	43
4-1	การเติบโตของสาหร่ายไส้ไก่ที่ปลูกในปริมาณ 0, 28 และ 56 ก./ตร.ม. หลังจากการเตรียม ดิน 14 วัน (T1 = 0, T2 = 28 และ T3 = 56 ก./ตร.ม.) (mean ± SD, n=3) ลูกศร ↑ แสดงวันที่คราดดิน	56
5-1	อัตราการเติบโตเฉลี่ยของกุ้งกุลาดำวัยรุ่นที่เลี้ยงในสภาวะที่มีอาหารแตกต่างกัน 3 รูปแบบ (T1 = ไม่ให้อาหารสำเร็จรูป, T2 = ให้อาหารเม็ดสำเร็จรูป, T3 = ไม่ให้อาหารสำเร็จรูปแต่ปลูกสาหร่ายไส้ไก่, ลูกศร ↑ แสดงวันที่คราดดิน)	76

รายการรูป (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
6-1	ดุลไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ หน่วยย่อยในระบบคือ น้ำ (Water) กุ้ง (Shrimp) แพลงก์ตอนพืช (Phytoplankton) สาหร่ายไส้ไก่ (Gutweed) และดินเลน (Sediment) เลขในวงเล็บเป็นเลขตัวแทนแต่ละกระบวนการที่เกิดขึ้นในระบบนิเวศ เส้นประ (22) เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นเฉพาะการเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนเท่านั้น	96
6-2	ดุลไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงโดยไม่ให้อาหารเม็ดสำเร็จรูป (T1)	100
6-3	ดุลไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงโดยให้อาหารเม็ดสำเร็จรูป (T2)	101
6-4	ดุลไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงโดยไม่ให้อาหารเม็ดสำเร็จรูปแต่ปลูกสาหร่ายไส้ไก่ (T3)	102
6-5	ดุลฟอสฟอรัสในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงโดยไม่ให้อาหารเม็ดสำเร็จรูป (T1)	103
6-6	ดุลฟอสฟอรัสในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงโดยให้อาหารเม็ดสำเร็จรูป (T2)	104
6-7	ดุลฟอสฟอรัสในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงโดยไม่ให้อาหารเม็ดสำเร็จรูปแต่ปลูกสาหร่ายไส้ไก่ (T3)	106

บทที่ 1

บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

ประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่เป็นผู้นำในภาคการประมงของโลก โดยสามารถผลิตสัตว์น้ำได้ประมาณ 3.8 ล้านตัน/ปี ประกอบด้วยผลผลิตสัตว์น้ำจากการจับ 2.4 ล้านตัน/ปี และจากการเพาะเลี้ยง 1.4 ล้านตัน/ปี ข้อมูลจาก (FAO, 2010) สำหรับผลผลิตจากการเพาะเลี้ยงนั้นในปี 2551 ประเทศไทยสามารถผลิตกุ้งทะเลได้ 506,602 ตัน จากปริมาณผลผลิตสัตว์น้ำชายฝั่งทั้งหมด 808,300 ตัน รวมถึงมูลค่าของกุ้งทะเลที่ส่งออกทำรายได้ให้กับประเทศไทย 42,751.7 ล้านบาท (กรมประมง, 2553) ประเทศไทยจึงถูกจัดให้เป็นประเทศที่ส่งออกกุ้งอันดับหนึ่งของโลก การเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลในประเทศไทยจึงเป็นอุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของประเทศไทยจนถึงปัจจุบัน

รูปแบบการเลี้ยงกุ้งในประเทศไทยเกือบทั้งหมดเป็นการเลี้ยงแบบพัฒนา (intensive shrimp culture) มีการปล่อยกุ้งแบบหนาแน่นและให้อาหารในปริมาณมากเพื่อให้ได้ผลผลิตสูง หากมีการวางแผนและการจัดการเลี้ยงที่ไม่เหมาะสมของเสียจะสะสมในบ่อในปริมาณมากและส่งผลให้กำลังผลิตของบ่อเลี้ยงกุ้งลดลงและส่งผลกระทบต่อเนื่องต่อสิ่งแวดล้อมของแหล่งเลี้ยงและความยั่งยืนของอุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเล ซึ่งปัญหาผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่ไม่ยั่งยืนกำลังเป็นปัญหาใหญ่ที่ทั่วโลกต่างตระหนักถึง และพยายามหาแนวทางในการแก้ไขและบรรเทาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมนั้นๆ (Páez-Osuna, 2001) ตัวอย่างที่ได้มีการรายงานไว้แล้วคือ การเลี้ยงในความหนาแน่นสูงและปล่อยน้ำทิ้งและเลนลงสู่แหล่งน้ำ โดยไม่มีการบำบัดหรือจัดการลดปริมาณสารอาหารส่วนเกินก่อนทิ้งลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ซึ่งสารอาหารเหล่านี้เป็นสาเหตุหลักที่ก่อให้เกิดมลภาวะแหล่งน้ำ (eutrophication) ที่น้ำและดินมีสารอาหารสะสมอยู่มากเกินไป จนทำให้แหล่งน้ำเสื่อมโทรม (Chua *et al*., 1989; Gowen *et al*., 1990; Phillips *et al*., 1991; Beveridge *et al*., 1994; Wu *et al*., 1994; Hargreaves, 1998; Naylor *et al*., 1998)

ของเสีย (wastes) ที่เกิดขึ้นจากการเลี้ยงกุ้ง เช่น สิ่งขับถ่าย อาหารเหลือ ซากแพลงก์ตอนที่ตายทับถมกัน เป็นต้น มักสะสมอยู่ในน้ำและดินพื้นบ่อในระหว่างเลี้ยง โดยเฉพาะบริเวณกองเลนตรงกลางบ่อ ในการจัดการแก้ไขปัญหาเพื่อไม่ให้ส่งผลกระทบต่อการเลี้ยงกุ้งในรอบต่อไป เกษตรกรมักใช้วิธีการฉีดเลนหรือลอกเลนเพื่อกำจัดของเสียเหล่านี้ออกจากบ่อเมื่อสิ้นสุดการเลี้ยง

แต่ละรอบ ซึ่งวิธีการดังกล่าวส่งผลต่อต้นทุนการเลี้ยงที่เพิ่มขึ้น อีกทั้งหากมีการทิ้งของเสียออกสู่ภายนอกหรือในแหล่งน้ำธรรมชาติก็จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและผลเสียต่อระบบนิเวศตามมาอีกมากมาย เกษตรกรหลายรายจึงพยายามพัฒนาแนวคิดในการจัดการฟาร์มแบบใหม่ๆ เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว ตัวอย่างเช่น ในระยะ 5-6 ปีที่ผ่านมา สุรีรัตน์ฟาร์ม ซึ่งเป็นฟาร์มเลี้ยงกุ้งกุลาดำอินทรีย์ในจังหวัดจันทบุรีได้ทดลองเลี้ยงกุ้งกุลาดำโดยไม่มีการกำจัดของเสียออกไปสู่ภายนอก แต่ใช้การปลูกสาหร่ายไส้ไก่ (*Ulva intestinalis* Linnaeus) ลงไปในบ่อ เพื่อให้สาหร่ายใช้ของเสียเหล่านั้นเป็นปุ๋ยในการเจริญเติบโต ซึ่งจากการทดลองดังกล่าว พบว่า สาหร่ายสามารถเติบโตได้โดยใช้ของเสียจากการเลี้ยงกุ้ง และเมื่อปล่อยกุ้งลงเลี้ยงในบ่อที่มีสาหร่าย พบว่าสามารถเลี้ยงกุ้งได้ดี โดยที่ใน 2 เดือนแรกของการเลี้ยงไม่จำเป็นต้องให้อาหารกุ้งเลย และเมื่อเลี้ยงกุ้งต่อไปโดยใช้อาหารสำเร็จรูป กุ้งที่เลี้ยงมีความแข็งแรงและมีสุขภาพดี สามารถเติบโตได้อย่างรวดเร็ว (ประยูร และคณะ, 2549) ซึ่งผลที่เกิดขึ้นเช่นนี้ ชี้ให้เห็นว่า แนวทางในการจัดการของเสียจากการเลี้ยงกุ้งที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยนำมาสร้างอาหารธรรมชาติให้เกิดขึ้นในบ่อเลี้ยงกุ้ง หมุนเวียนกลับไปสู่การเลี้ยงกุ้งในรอบต่อไปนั้น มีความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ ซึ่งแนวทางนี้นอกจากเป็นวิธีการที่สอดคล้องและอิงธรรมชาติแล้ว ยังเป็นการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและลดต้นทุนการผลิตอีกด้วย อย่างไรก็ตามต่อมาได้มีเกษตรกรจำนวนมากพยายามเอาแนวคิดดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ในพื้นที่ต่างๆ กัน แต่หลายรายยังไม่ประสบความสำเร็จ เนื่องจากความแตกต่างของสภาพแวดล้อมแต่ละพื้นที่ และยังมีข้อจำกัดในเรื่ององค์ความรู้พื้นฐานและความเข้าใจในเรื่องบทบาทของสาหร่ายไส้ไก่ซึ่งเกษตรกรยังไม่สามารถอธิบายได้อย่างแน่ชัดว่า เกิดกลไกอะไรขึ้นภายในบ่อเลี้ยงกุ้ง และมีปัจจัยใดเป็นตัวกำหนดให้สาหร่ายสามารถเติบโตและเป็นตัวช่วยในการกำจัดของเสียแล้วทำให้การเลี้ยงกุ้งได้ผลดี

จากการสังเกตของผู้วิจัย ทำให้เกิดแนวคิดว่า การใช้สาหร่ายไส้ไก่นี้สามารถทำให้เกิดระบบนิเวศขนาดย่อม (microhabitat) ที่มีสาหร่ายเป็นศูนย์กลางแสดงบทบาทในการพื้นฟูและเพิ่มกำลังผลิตของบ่อผ่านอาหารธรรมชาติที่เกิดขึ้น (สาหร่าย สัตว์หน้าดิน และสิ่งมีชีวิตอื่นๆ เป็นต้น) ซึ่งสิ่งมีชีวิตต่างๆ ในระบบนิเวศนี้มีความสามารถในการหมุนเวียนสารอาหารที่เหลือตกค้างอยู่ในรูปของของเสีย ผ่านเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารของกุ้งที่เลี้ยงในบ่อ ดังนั้นการศึกษาบทบาทดังกล่าวของสาหร่ายไส้ไก่ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องเข้าใจกระบวนการเกิดขึ้นของกำลังผลิตที่เป็นอาหารธรรมชาติ กระบวนการหมุนเวียนสารอาหารที่เกิดขึ้นในบ่อเลี้ยง และกระบวนการถ่ายทอดสารอาหารที่เกิดขึ้นใหม่ไปสู่ตัวกุ้งที่ปล่อยลงเลี้ยง ว่ามีความแตกต่างอย่างไรจากระบบการเลี้ยงแบบพัฒนาทั่วไปที่ไม่มีสาหร่ายและเน้นการใช้อาหารสำเร็จรูปเป็นหลัก และระบบบ่อเลี้ยงกุ้งที่ไม่มีการให้อาหารสำเร็จ (ชุดควบคุม) ซึ่งถ้ามีความเข้าใจอย่างชัดเจนในแนวคิดดังกล่าว จะสามารถ

ประยุกต์ใช้สาหร่ายไส้ไก่เข้าร่วมในการเลี้ยงกุ้งอย่างกว้างขวางในแหล่งเลี้ยงต่างๆ ทั่วประเทศ ทำให้เกิดมิติใหม่ในการผลิตกุ้งทะเลในบ่อเลี้ยงแบบพัฒนา ซึ่งนอกจากช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแล้ว ยังช่วยลดปัญหาในเรื่องการจัดการเลี้ยงได้ ทำให้เกิดความยั่งยืนในการเลี้ยงกุ้งต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลของปริมาณสาหร่ายที่แตกต่างกัน 3 ระดับ ต่อการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยที่มีชีวิต (biotic factors) ที่เกี่ยวข้องกับอาหารธรรมชาติในบ่อและปัจจัยที่ไม่มีชีวิต (abiotic factors) ในดินตะกอนและน้ำ ในสภาวะแวดล้อมที่ไม่มีการรบกวนของกุ้งรวมทั้งหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยดังกล่าว
2. เพื่อศึกษาอัตราการเติบโตและองค์ประกอบเชิงปริมาณและคุณภาพของอาหารในกระเพาะอาหารของกุ้งกุลาดำวัยรุ่นที่เลี้ยงด้วยการให้อาหาร 3 รูปแบบ คือ ไม่ให้อาหารสำเร็จรูป ให้อาหารเม็ดสำเร็จรูป และให้อาหารธรรมชาติที่สร้างโดยระบบการปลูกสาหร่ายไส้ไก่ รวมทั้งศึกษาความสัมพันธ์ของสภาวะของระบบนิเวศที่ให้อาหาร 3 รูปแบบต่อการกินอาหารและการเติบโตของกุ้งกุลาดำ
3. เพื่อศึกษาบทบาทของสาหร่ายไส้ไก่ต่อพลวัตและการหมุนเวียนสารอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในดินเลนกลับไปสู่ตัวกุ้งในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่มีการให้อาหารแตกต่างกัน 3 รูปแบบ คือ ไม่ให้อาหารสำเร็จรูป ให้อาหารเม็ดสำเร็จรูป และให้อาหารธรรมชาติที่สร้างโดยระบบการปลูกสาหร่ายไส้ไก่

บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

2.1 การเลี้ยงกุ้งในประเทศไทย

- พื้นที่เลี้ยงและปริมาณผลผลิต

กุ้งทะเลเป็นสัตว์น้ำที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ เป็นที่นิยมบริโภคทั้งในและต่างประเทศ มีผลทำให้ความต้องการกุ้งทะเลเพิ่มขึ้นทุก ๆ ปี และนับตั้งแต่ปี 2531 การเลี้ยงกุ้งทะเลได้ขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วทั้งจำนวนผู้เลี้ยงและเนื้อที่เลี้ยง (กรมประมง, 2552) โดยสัดส่วนกุ้งทะเลที่ได้จากการเลี้ยงมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อเทียบกับกุ้งทะเลที่ได้จากการจับจากธรรมชาติ และในปี 2550 ปริมาณกุ้งทะเลที่ได้จากการเพาะเลี้ยงคิดเป็น 90.68 % ขณะที่กุ้งทะเลที่ได้จากการจับมีเพียง 9.32 % เท่านั้น (ตารางที่ 2-1) ซึ่งประเทศไทยสามารถผลิตและส่งออกได้เป็นอับดับ 1 ของโลกตั้งแต่ปี 2534 จนถึงปัจจุบัน โดยในระยะแรกชนิดกุ้งทะเลที่เลี้ยงและส่งออกเป็นหลักได้แก่กุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) จนกระทั่งในปี 2545 การเลี้ยงกุ้งกุลาดำเริ่มประสบปัญหาทั้งในเรื่องโรคระบาด กุ้งขนาดเล็ก เลี้ยงไม่โต และราคาตกต่ำ ทำให้เกษตรกรส่วนใหญ่เปลี่ยนมาเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vannamei*) แทน ทำให้ผลผลิตกุ้งกุลาดำมีปริมาณลดลงเรื่อย ๆ ขณะที่ปริมาณกุ้งขาวแวนนาไมก็เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ และในปัจจุบัน (ข้อมูลปี 2550) ผลผลิตกุ้งขาวแวนนาไมมีปริมาณสูงถึง 508,445.595 ตัน คิดเป็น 97.17 % และมีกุ้งกุลาดำคิดเป็น 2.74 % ของปริมาณกุ้งทั้งหมด (ตารางที่ 2-2)

พื้นที่เลี้ยงกุ้งทะเลของประเทศไทยเกือบทั้งหมดเป็นพื้นที่ในจังหวัดที่ติดทะเล จากข้อมูลการสำรวจของกรมประมง (2552) พบว่าจำนวนฟาร์มเลี้ยงกุ้งของประเทศไทยในปี 2550 มีทั้งหมด 30,311 ฟาร์ม พื้นที่ที่มีฟาร์มเลี้ยงกุ้งทะเลมากที่สุด คือ บริเวณภาคตะวันออกโดยมีฟาร์มกุ้งมากถึง 12,059 ฟาร์ม คิดเป็นร้อยละ 39.78 ของฟาร์มเลี้ยงกุ้งทั้งหมด จังหวัดที่มีฟาร์มกุ้งมากที่สุดในภาคนี้คือจังหวัดฉะเชิงเทรา โดยมีจำนวนฟาร์มมากถึง 7,500 ฟาร์ม แหล่งเลี้ยงสำคัญรองลงมาคือภาคใต้ฝั่งอ่าวไทย มีจำนวนฟาร์มทั้งหมด 8,799 ฟาร์ม คิดเป็นร้อยละ 29.03 ของจำนวนฟาร์มกุ้งทั้งหมด จังหวัดที่มีจำนวนฟาร์มกุ้งมากในภาคนี้ได้แก่ นครศรีธรรมราช สงขลา และสุราษฎร์ธานี อันดับสามเป็นภาคกลางมีจำนวนฟาร์มกุ้ง 6,202 ฟาร์ม คิดเป็นร้อยละ 20.46 ของจำนวนฟาร์มกุ้งทั้งหมด

ตารางที่ 2-1 ปริมาณการจับกุ้งทะเลจากธรรมชาติ และจากการเพาะเลี้ยงของประเทศไทยในระหว่างปี 2529 – 2550 (กรมประมง, 2552)

ปี	ปริมาณกุ้งรวม (ตัน)	ปริมาณกุ้งจับจากธรรมชาติ		ปริมาณกุ้งจับจากธรรมชาติ	
		ปริมาณ (ตัน)	%	ปริมาณ (ตัน)	%
2529	120,413	102,527	85.15	17,886	14.85
2530	129,777	106,211	81.84	23,566	18.16
2531	141,503	85,870	60.68	55,633	39.32
2532	178,698	85,204	47.68	93,494	52.32
2533	201,239	83,012	41.25	118,227	58.75
2534	268,565	106,495	39.65	162,070	60.35
2535	276,500	91,616	33.13	184,884	66.87
2536	321,028	65,514	29.75	225,514	70.25
2537	361,219	97,773	27.07	263,446	72.93
2538	365,455	105,914	28.98	259,541	71.02
2539	348,660	109,160	31.31	239,500	68.69
2540	333,277	105,717	31.72	227,560	68.28
2541	330,008	77,277	23.42	252,731	76.58
2542	351,938	76,394	21.71	275,544	78.29
2543	390,730	80,868	20.7	309,862	79.3
2544	361,125	81,118	22.46	280,007	77.54
2545	341,307	76,383	22.38	264,924	77.62
2546	404,874	74,149	18.31	330,725	81.69
2547	426,444	66,155	15.51	360,289	84.49
2548	468,534	67,284	14.36	401,250	85.64
2549	559,311	64,910	11.61	494,401	88.39
2550	577,030	53,804	9.32	523,226	90.68

ตารางที่ 2-2 ปริมาณ (ตัน) และมูลค่า (ล้านบาท) ของผลผลิตกุ้งกุลาดำและกุ้งขาวแวนนาไมจากการเพาะเลี้ยงของประเทศไทย ปี 2529 – 2550 (กรมประมง, 2552)

ปี	ปริมาณกุ้งรวม		กุ้งกุลาดำ		กุ้งขาวแวนนาไม	
	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า
2529	17,885.83	1,737.58	897.31	196.61	-	-
2530	23,566.47	3,449.32	10,544.16	2,017.65	-	-
2531	55,632.84	7,900.55	40,773.70	6,577.38	-	-
2532	93,494.50	11,072.19	81,491.68	10,128.26	-	-
2533	118,227.05	14,365.36	107,968.93	13,506.83	-	-
2534	162,069.69	19,834.11	155,069.29	19,227.39	-	-
2535	184,884.32	25,500.14	179,357.52	25,054.86	-	-
2536	225,514.30	32,425.34	219,900.12	31,938.82	-	-
2537	263,445.97	39,745.25	259,083.77	39,410.41	-	-
2538	259,540.54	39,544.65	255,890.07	39,244.22	-	-
2539	239,499.53	40,312.13	235,035.12	39,914.82	-	-
2540	227,560.24	49,104.51	223,551.18	48,674.38	-	-
2541	252,731.01	58,960.42	247,458.24	58,262.28	-	-
2542	275,543.88	67,127.50	271,019.18	66,557.52	-	-
2543	309,862.46	89,982.50	304,987.84	89,230.30	-	-
2544	280,006.61	65,145.24	274,330.00	64,156.07	-	-
2545	264,923.58	52,941.00	260,573.65	52,204.06	-	-
2546	330,724.51	43,582.87	194,909.47	29,884.32	132,364.31	13,308.97
2547	360,289.10	44,753.22	106,884.17	15,161.63	251,698.11	29,384.35
2548	401,250.00	45,978.67	26,055.52	4,018.46	374,486.80	41,844.68
2549	494,401.00	50,674.86	13,986.00	1,659.86	480,061.00	48,962.62
2550	523,226.24	48,504.48	14,317.64	1,484.80	508,445.60	46,939.87

- รูปแบบการเลี้ยง

สำหรับรูปแบบการเลี้ยงกุ้งในประเทศไทยแบ่งเป็น 3 รูปแบบ (กรมประมง, 2552) คือ แบบธรรมชาติ (Extensive) แบบกึ่งพัฒนา (Semi-intensive) และแบบพัฒนา (Intensive)

1) การเลี้ยงแบบธรรมชาติ เป็นการเลี้ยงแบบดั้งเดิม ใช้พื้นที่ค่อนข้างมาก ขนาดของบ่อส่วนใหญ่จะมากกว่า 25 ไร่ขึ้นไป และใช้พันธุ์กุ้งจากธรรมชาติเท่านั้น
2) การเลี้ยงแบบกึ่งพัฒนา หมายถึงวิธีการเลี้ยงกุ้งที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับการเลี้ยงแบบธรรมชาติแต่มีการปรับปรุงรูปแบบบ่อ ขนาดบ่อโดยเฉลี่ยประมาณ 10-25 ไร่ มีการซื้อพันธุ์กุ้งจากโรงเพาะฟักลงปล่อยเสริมในอัตราน้อยกว่า 40,000 ตัวต่อไร่ มีการให้อาหารสมทบ อาจมีเครื่องเพิ่มออกซิเจนหรือไม่มีก็ได้
3) การเลี้ยงแบบพัฒนา หมายถึงการเลี้ยงที่ใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่เข้าช่วย การจัดรูปแบบของบ่อมีระบบถ่ายเทน้ำ ควบคุมอุณหภูมิ ควบคุมโรค และมีระบบการจัดการที่ดี ขนาดของบ่อประมาณ 1-10 ไร่ ให้อาหารทุกวัน ๆ ละ 3-5 มื้อ และมีการดูแลเอาใจใส่อย่างใกล้ชิด ใช้เครื่องตีน้ำ 1 เครื่อง ต่อพื้นที่ผิวน้ำ 1-2 ไร่

ซึ่งในอดีตจนถึงปี 2547 ประเทศไทยมีการเลี้ยงทั้ง 3 รูปแบบจนในปี 2548 รูปแบบการเลี้ยงกุ้งทะเลแบบธรรมชาติเริ่มหายไปเหลือเฉพาะการเลี้ยงแบบกึ่งพัฒนาและแบบพัฒนา โดยในระยะหลังการเลี้ยงแบบกึ่งพัฒนาก็เริ่มลดลงเรื่อย ๆ โดยในปี 2550 มีฟาร์มเลี้ยงกุ้งทั้งหมด 30,311 ฟาร์ม เป็นฟาร์มเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนา 27,663 ฟาร์ม คิดเป็น 91.26% และฟาร์มเลี้ยงกุ้งแบบกึ่งพัฒนา 2,648 ฟาร์ม คิดเป็น 8.74% และเมื่อพิจารณาตามเนื้อที่เลี้ยงทั้งหมด 427,551 ไร่ เป็นเนื้อที่เลี้ยงกุ้งแบบพัฒนา 351,049 ไร่ คิดเป็น 82.11% และเนื้อที่เลี้ยงกุ้งแบบกึ่งพัฒนา 76,462 ฟาร์ม คิดเป็น 17.89% (กรมประมง, 2552)

- ปัญหาและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

การขยายตัวอย่างรวดเร็วของการเลี้ยงกุ้งนำไปสู่ความกังวลเกี่ยวกับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะการปล่อยของเสียที่เป็นสารประกอบฟอสฟอรัสจากฟาร์มเลี้ยงกุ้งลงสู่แหล่งน้ำ (Montaya *et al*., 2000) การขยายตัวอย่างรวดเร็วและหนาแน่นขึ้นนี้เป็นสาเหตุในการเพิ่มการปล่อยน้ำทิ้งที่อุดมไปด้วยสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่จะนำไปสู่การเกิดยูโทรฟิเคชั่น (eutrophication) ในแหล่งน้ำได้ (Liao, 1992; Phillips *et al*., 1993; Stanley, 1993).

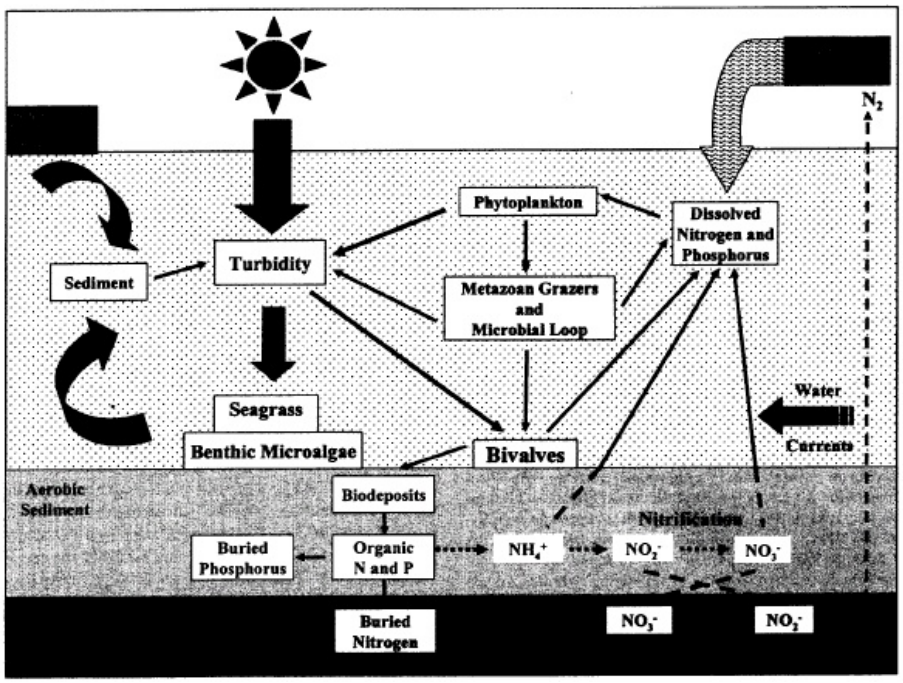
การขาดการวางแผนและการจัดการที่ดีซึ่งนำไปสู่ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมนี้เกิดขึ้นทั่วโลก โดยผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการเลี้ยงกุ้งที่เกิดขึ้นมีทั้งในช่วงของการเริ่มต้น

ก่อตั้งฟาร์มเลี้ยงและผลกระทบในระหว่างการเลี้ยง (Páez-Osuna, 2001) ซึ่งผลกระทบในช่วงของการเริ่มก่อตั้งฟาร์มมาจากการเปลี่ยนพื้นที่ตามแนวชายฝั่งที่เป็นเขตกสิกรรมหรือเป็นป่าชายเลนมาใช้ในการเลี้ยงกุ้ง โดยเฉพาะการทำลายป่าชายเลนนั้นเป็นการทำลายแหล่งที่อยู่อาศัยและอนุบาลตัวอ่อนของปลา กุ้งและปูอื่น ๆ อีกหลายชนิด และผลกระทบในช่วงของการดำเนินการเลี้ยงเกิดจากการปล่อยน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งที่อุดมไปด้วยสารแขวนลอย สารอาหาร คลอโรฟิลล์ เอ และค่าบีโอดีสูงลงสู่แหล่งน้ำส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำตามแนวชายฝั่ง มีการศึกษามากมายเพื่อที่จะหาวิธีการลดผลกระทบที่เกิดขึ้น เช่น การใช้เทคโนโลยีการเพาะเลี้ยงแบบ polyculture โดยเลี้ยงกุ้งร่วมกับหอย ปลา หรือสาหร่ายขนาดใหญ่ (Sandifer and Hopkins, 1996; Brown and Glenn, 1999; Brown *et al*., 1999) นอกจากนี้การปรับปรุงรูปแบบบ่อการสร้างบ่อที่เป็นแนวกันชน การลดการถ่ายน้ำ และการปรับปรุงวิธีการหรือเทคนิคในการให้อาหารก็เป็นทางเลือกในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้

2.2 การหมุนเวียนสารอาหารในแหล่งน้ำและบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

อาหารที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ไม่ว่าจะเกิดขึ้นมาโดยธรรมชาติหรือผลิตขึ้นมาจากมนุษย์ เป็นสารอินทรีย์ที่มีธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ออกซิเจน ซัลเฟอร์ และฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบหลัก การให้อาหารแก่สัตว์น้ำกินเพื่อให้เติบโตจนถึงขนาดตลาด ธาตุเหล่านี้จะถูกดูดซับและขับถ่ายออกมาสะสมหมุนเวียนอยู่ในแหล่งน้ำ ในกรณีของระบบนิเวศของการเลี้ยงหอยสองฝา (bivalves) หอยจะกรองกินอนุภาคของสารอินทรีย์ที่มีฟอสฟอรัสและไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบ เช่น แพลงก์ตอนพืช แบคทีเรีย และสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ ซึ่งในสารอินทรีย์เหล่านี้จะถูกย่อยและดูดซึม สารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสส่วนหนึ่งถูกเก็บสะสมไว้ในเนื้อเยื่อของหอยที่เติบโตขึ้น และหอยจะส่งผ่านอนุภาคที่ไม่ถูกย่อยไปสู่ผิวหน้าตะกอนดิน การเก็บฟอสฟอรัสและไนโตรเจนในชั้นดินที่มีออกซิเจน (aerobic sediment) และในชั้นดินที่มีออกซิเจนนี้มีกระบวนการ nitrification เกิดขึ้น เพื่อเปลี่ยนให้สารประกอบไนโตรเจนเป็น แอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรท ตามลำดับ นอกจากนี้กิจกรรมของจุลินทรีย์ในชั้นดินที่ลึกลงไปซึ่งเป็นชั้นดินที่ขาดออกซิเจน (anaerobic sediment) จะมีกระบวนการ denitrification เกิดขึ้น เปลี่ยนแปลงให้ไนเตรทกลายเป็นก๊าซไนโตรเจน ซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียไนโตรเจนในรูปของไนโตรเจนก๊าซ ออกจากระบบนิเวศได้ ในขณะที่สารประกอบฟอสฟอรัสถูกสะสมและทับถม (buried phosphorus) อยู่ในตะกอนดิน สำหรับการเติบโตของสาหร่ายขนาดเล็กที่หน้าดิน (benthic microalgae) เกิดจากการเพิ่มขึ้นของแสงแดดที่ส่องถึงหน้าดิน ซึ่งสาหร่ายขนาดเล็กที่หน้าดินนี้

สามารถดูดซับสารอาหารทั้งที่เป็นสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสโดยเป็นการแย่งสารอาหารกับแพลงก์ตอนพืช (รูปที่ 2-1)

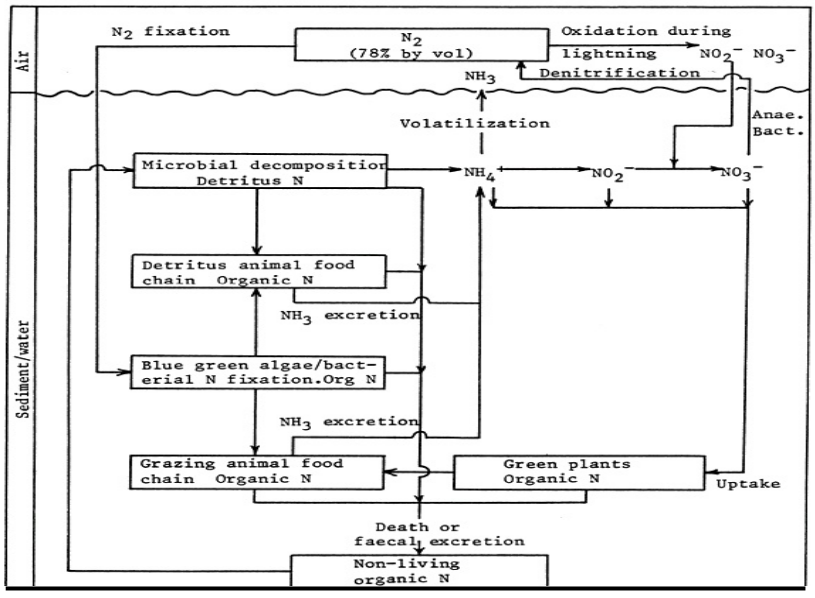


รูปที่ 2-1 การหมุนเวียนสารอาหารในระบบการเลี้ยงหอยสองฝา (bivalves) (newell, 2004 ดัดแปลงจาก newell *et al*., 2002)

- การหมุนเวียนไนโตรเจน

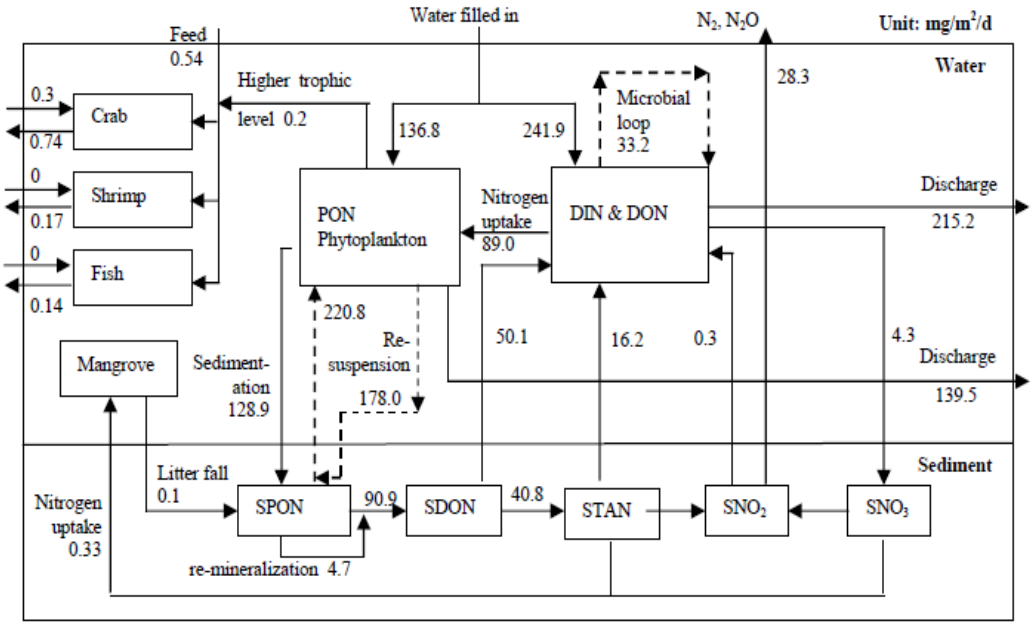
ธาตุไนโตรเจนมีการหมุนเวียนอยู่ในระบบนิเวศแหล่งน้ำและบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอยู่ตลอดเวลา ตะกอนดินก้นบ่อทำหน้าที่สำคัญทั้งเป็นแหล่งดูดซับและปล่อยสารประกอบไนโตรเจนไปพร้อมๆกันตลอดระยะเวลาที่เลี้ยงกุ้ง ในชั้นของตะกอนดินเมื่อสารอินทรีย์ตกลงไปอินทรีย์ไนโตรเจนจะถูก Heterotrophic microorganisms กินและย่อยให้เป็นแอมโมเนียโดยผ่านกระบวนการแอมโมนิฟิเคชั่น (ammonification; กระบวนการย่อยกรดอะมิโนแล้วขับไนโตรเจนออกมาเป็นแอมโมเนีย) จากนั้นการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนก็เกิดขึ้นโดยกระบวนการไนตริฟิเคชั่นที่อินทรีย์ไนโตรเจนถูกเปลี่ยนจากสารประกอบแอมโมเนียเป็นไนไตรท์และไนเตรทในสภาวะที่มีออกซิเจน ขณะที่สภาวะขาดออกซิเจนในตะกอนดิน (โดยเฉพาะในตะกอนดินชั้นล่าง) ไนเตรท (NO_3^-) จะถูกเปลี่ยนเป็นไนไตรท์ (NO_2^-), ไนตรัสออกไซด์ (N_2O) และก๊าซไนโตรเจน (N_2) โดยกระบวนการดีไนตริฟิเคชั่น (denitrification) ซึ่งจะดึงเอาอะตอมของออกซิเจนออกจากสารประกอบไนโตรเจนเพื่อไปใช้ในการสร้างพลังงาน (Santschi *et al*., 1990)

Tacon (1998) อธิบายการหมุนเวียนไนโตรเจนในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำไว้ ดังนี้ ไนโตรเจนในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่อยู่ในรูปอินทรีย์ไนโตรเจนถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์กลายเป็นซากเน่าเปื่อย (detritus) และขับไนโตรเจนออกมาในรูปแอมโมเนียม โดยกระบวนการ nitrification ในสภาวะที่มีออกซิเจน แอมโมเนียมจะถูกเปลี่ยนไปเป็นไนไตรท์และไนเตรท แล้วไนเตรทจะถูกดูดซับไปใช้โดยพืชสีเขียวและอยู่ในรูปของอินทรีย์ไนโตรเจน จากนั้นก็จะถูกส่งผ่านไปสัตว์ที่กินพืชสีเขียวภายในห่วงโซ่อาหารซึ่งอยู่ในรูปอินทรีย์ไนโตรเจนเช่นกัน โดยอินทรีย์ไนโตรเจนในพืชสีเขียวและสัตว์เหล่านั้นจะหมุนเวียนไปอยู่ในรูปอินทรีย์ไนโตรเจนที่ไม่มีชีวิตอีกครั้งในรูปของสิ่งขับถ่ายและการตายตกลงไป นอกจากนี้สัตว์ในห่วงโซ่อาหารก็มีการขับไนโตรเจนออกมาในรูปแอมโมเนีย ซึ่งจะกลายเป็นแอมโมเนียม แล้วเข้าสู่กระบวนการ nitrification เช่นเดียวกับแอมโมเนียมที่ถูกปล่อยออกมาโดยจุลินทรีย์ โดยที่ไนโตรเจนไนรูปแอมโมเนียม ส่วนหนึ่งจะระเหยออกสู่บรรยากาศในรูปของแอมโมเนีย จากการย่อยสลายของจุลินทรีย์เป็นไนโตรเจนในซากเน่าเปื่อย จะถูกหมุนเวียนไปสู่สัตว์ที่กินซากเน่าเปื่อยในห่วงโซ่อาหาร และสัตว์เหล่านั้นขับไนโตรเจนออกมาสู่มวลน้ำในรูปของแอมโมเนีย นอกจากนี้ในระบบนิเวศของบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจะมีสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและแบคทีเรียบางกลุ่มสามารถตรึงไนโตรเจนจากชั้นบรรยากาศมาอยู่ในรูปอินทรีย์ไนโตรเจนในเซลล์ และมีการหมุนเวียนไปสู่สัตว์ที่กินซากเน่าเปื่อยและสัตว์ที่กินเซลล์สาหร่ายและแบคทีเรียเหล่านี้ภายในห่วงโซ่อาหาร และในสภาวะที่ขาดออกซิเจน แบคทีเรียในกลุ่มที่ย่อยสลายโดยไม่ใช้ออกซิเจนจะเปลี่ยนไนเตรทเป็นไนไตรท์ แอมโมเนีย และก๊าซไนโตรเจน โดยกระบวนการ denitrification (รูปที่ 2-2)



รูปที่ 2-2 การหมุนเวียนไนโตรเจนในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (Tacon, 1998)

นอกจากนี้ Songsangjinda และคณะ (2007) ได้ศึกษาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำร่วมกับการปลูกป่า (silvo-aquaculture) โดยศึกษาการเลี้ยงปูทะเลร่วมกับกุ้งกุลาดำในนากุ้งที่ปลูกป่าโกงกาง โดยทำการตรวจติดตามคุณสมบัติของน้ำและดินในนากุ้ง รวมทั้งฟลักซ์ของสารอาหาร การตกตะกอน การฟุ้งขึ้นมาใหม่ของตะกอนดิน และการหมุนเวียนของสารอาหาร พบว่า คุณสมบัติของตะกอนดินแสดงให้เห็นถึงบทบาทที่เป็นแหล่งอินทรีย์สารที่สำคัญ โดยเฉพาะสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำและปริมาณอินทรียวัตถุ นอกจากนี้ดินตะกอนยังมีบทบาทในการดึงและปลดปล่อยสารอาหารจากมวลน้ำสู่ดิน หรือจากตะกอนดินสู่น้ำ และยังเป็นแหล่งสำคัญของไนโตรเจนรูปแบบต่างๆ จากการศึกษายังพบอีกว่า สภาวะของดินที่มีการสะสมของไนโตรเจนไว้มาก ทำให้มีการปล่อยไนโตรเจนจากบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำในรูปของก๊าซไนโตรเจนโดยกระบวนการดีไนตริฟิเคชั่นไปสู่ชั้นบรรยากาศด้วย (รูปที่ 2-3)

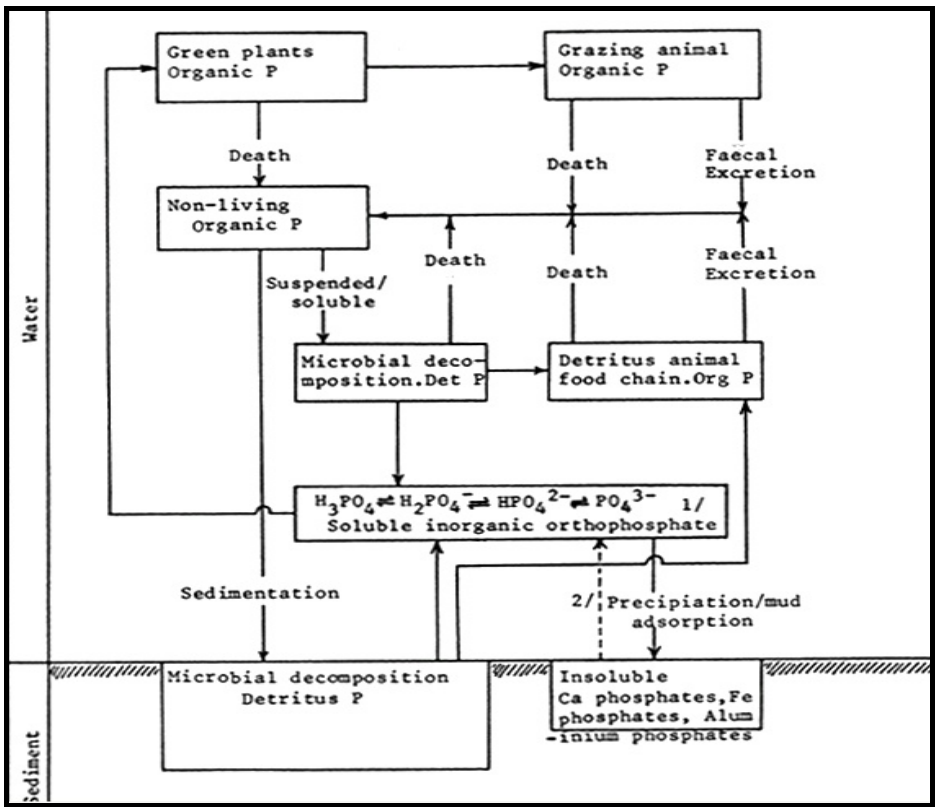


รูปที่ 2-3 การหมุนเวียนไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงปูทะเลร่วมกับกุ้งกุลาดำในนากุ้งที่ปลูกป่าโกงกาง (Songsangjinda *et al*., 2007)

- การหมุนเวียนฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสสะสมอยู่ในชั้นดินในรูปสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำ เช่น แคลเซียมฟอสเฟต เฟอร์รัสฟอสเฟต หรือ อะลูมิเนียมฟอสเฟต ถูกปล่อยออกมาสู่น้ำโดยการแพร่ออกมาจากชั้นผิวหน้าดิน นอกจากนี้ยังถูกปล่อยออกมาโดยกิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์มาอยู่ในรูป

อนินทรีย์ออร์โธฟอสเฟตละลายน้ำ แล้วถูกดึงไปใช้โดยพืชสีเขียว จากนั้นจึงถูกส่งผ่านไปสู่สัตว์ที่กินพืชสีเขียวเหล่านั้น และพืชสีเขียวบางส่วนที่ตายจะไปอยู่ในรูปของฟอสฟอรัสอินทรีย์และตกกลับไปสะสมในดินอีกครั้ง สำหรับฟอสฟอรัสที่ถูกหมุนเวียนไปยังสัตว์ที่กินพืชจะถูกส่งต่อไปอยู่ในรูปฟอสฟอรัสอินทรีย์โดยการขับถ่ายและการตายของสัตว์ ซึ่งฟอสฟอรัสอินทรีย์บางส่วนที่แขวนลอยในน้ำจะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์กลายเป็นฟอสฟอรัสอนินทรีย์ และบางส่วนหมุนเวียนกลับไปเป็นฟอสฟอรัสอินทรีย์อีกครั้งโดยการตายของจุลินทรีย์และการส่งผ่านไปสู่สัตว์ที่กินซากเน่าเปื่อยในห่วงโซ่อาหาร โดยที่สัตว์เหล่านี้จะหมุนเวียนฟอสฟอรัสจากชั้นดินผ่านการกินซากเน่าเปื่อย (detritus) แล้วหมุนเวียนไปเป็นฟอสฟอรัสอินทรีย์อีกครั้งโดยการตายและการขับถ่าย (รูปที่ 2-4)



รูปที่ 2-4 การหมุนเวียนฟอสฟอรัสในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (Tacon, 1998)

ฟอสฟอรัสในบ่อเลี้ยงกุ้งได้มาจากการขับถ่าย ซากสิ่งมีชีวิต และอาหารที่หลงเหลือจากการกินของกุ้ง ซึ่งฟอสฟอรัสส่วนใหญ่สามารถตกตะกอนและถูกดูดกลืนโดยดินนากุ้ง (ยงยุทธ และคณะ, 2532) ทั้งนี้ฟอสฟอรัสจะสะสมอยู่ในดินในรูปเฟอร์รัสฟอสเฟต ($FePO_4$) อะลูมิเนียมฟอสเฟต ($AlPO_4$) และแคลเซียมฟอสเฟต ($CaPO_4$) (Chien, 1989) pH ของดินลดลง เฟอร์รัสฟอสเฟตและอะลูมิเนียมฟอสเฟตจะปลดปล่อยไอออนฟอสเฟตออกมาสู่สารละลายดิน เมื่อดินแห้ง

ฟอสฟอรัสที่ถูกตรึงโดยอะลูมิเนียมในรูปอะลูมิเนียมฟอสเฟตจะมีปริมาณลดลง แต่เมื่อเวลาผ่านไป ฟอสฟอรัสที่ถูกดูดตรึงในรูปเฟอร์รัสฟอสเฟตจะมีเพิ่มขึ้น และมีปริมาณเหล็กและอะลูมิเนียมเพิ่มขึ้น ชฎา (2535) พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available phosphorus) ในช่วงตากบ่ออยู่ในช่วง 37.37-42.62 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และมีแนวโน้มลดลงตามความลึกของหน้าดิน

Montoya และคณะ (2000) ศึกษาพลวัตของฟอสฟอรัสในระบบการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา ซึ่งเป็นผลเนื่องจากสูตรอาหารและวิธีการให้อาหาร พบว่า ฟอสฟอรัสในอาหารถูกบริโภคและเผาผลาญโดยกุ้ง และสูญเสียออกไปในรูปของอาหารที่กุ้งไม่ได้กิน อาหารที่เป็นอนุภาคขี้กุ้ง และที่ละลายไปกับน้ำ

นอกจากนี้การศึกษาการหมุนเวียนไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในระบบการเลี้ยงแบบผสมผสานที่เลี้ยงปลา sea bream แบบหนาแน่น และ ใช้สาหร่าย *Ulva lactuca* ช่วยในการดูดซับสารอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส พบว่า ฟอสฟอรัสปริมาณมากมาจากอาหารที่ให้ ซึ่งสาหร่ายสามารถดูดซับไปได้ 9-21% โดยที่สารอินทรีย์ในถังตกตะกอนอุดมไปด้วยฟอสฟอรัสและน้ำทิ้งเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีปริมาณฟอสฟอรัส 39-47% ของฟอสฟอรัสที่เข้าสู่ระบบ (Krom *et al*., 1995)

2.3 ระบบนิเวศบ่อเลี้ยงกุ้ง

- ตัวแปรมีชีวิต (biotic factors)

ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ จุลินทรีย์มีบทบาทหลักซึ่งเกี่ยวข้องกับกำลังผลิต (productivity) การหมุนเวียนสารอาหาร คุณค่าทางโภชนาการของสัตว์ที่เลี้ยง คุณภาพน้ำ การควบคุมโรค และผลกระทบของน้ำทิ้งต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ภายในระบบนิเวศมีความสัมพันธ์แบบพึ่งพาอาศัยกัน สิ่งมีชีวิตที่เพาะเลี้ยงไม่ว่ากุ้งหรือปลาจึงมีความสัมพันธ์กับสิ่งมีชีวิตเล็กๆ เช่น จุลินทรีย์ แพลงก์ตอนพืช แพลงก์ตอนสัตว์ และสัตว์หน้าดิน ทั้งทางตรงและทางอ้อม การจัดการให้มีสิ่งมีชีวิตเล็กๆ ในสายใยอาหาร (food web) ให้เกิดขึ้นในบ่อเลี้ยงกุ้งจึงมีความจำเป็นในด้านอาหารธรรมชาติของลูกกุ้งแรกปล่อย (Moriarty, 1997)

สาหร่ายขนาดเล็ก (microalgae) ในบ่อเลี้ยงกุ้งมาจากน้ำที่เติมเข้าสู่บ่อในครั้งแรก และหลังจากนั้นองค์ประกอบและความชุกชุมของแพลงก์ตอนพืชจะเปลี่ยนแปลงไป แพลงก์ตอน-พืชในบ่อเลี้ยงกุ้งสามารถเพิ่มปริมาณอย่างรวดเร็วเนื่องจากมีสารอาหาร เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส

จากของเสียที่เกิดการปล่อยกุ้งหนาแน่น การใช้น้ำ อาหาร และปุ๋ย (Alonso-Rodríguez and Páez-Osuna, 2003)

ในบ่อเลี้ยงกุ้งแบบกึ่งพัฒนา ในสัปดาห์แรกของการเลี้ยง กุ้งเปลี่ยนแปลงจากระยะตัวอ่อนระยะสุดท้าย (postlarvae) เข้าสู่ระยะวัยรุ่น (juvenile)) โดยกุ้งเหล่านี้กินอาหารธรรมชาติ พวกสาหร่ายขนาดเล็ก (microalgae) โคพิพอด (copepod) ซากเน่าเปื่อย (detritus) และตัวอ่อนหอย (mollusk larvae) จนถึง 2 เดือนหลังปล่อยกุ้งจึงเริ่มให้อาหารสำเร็จรูปเสริม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณอาหารธรรมชาติที่เกิดขึ้นในบ่อ (Fast, 1992) และกุ้งระยะก่อนเต็มวัยถึงระยะเต็มวัยสามารถกินสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ (macrofauna) เช่น หอยสองฝาและหอยฝาเดียวขนาดเล็ก กินสัตว์หน้าดินขนาดกลาง (meiofauna) เช่น โพลิคีต (polychaetes) แอมฟิพอด (amphipods) โคพิพอดกลุ่มฮาร์แพ็คทิคอยด์ (harpacticoid copepods) และพวก meiobenthos เช่น แบคทีเรีย รวมทั้งซากเน่าเปื่อย (detritus) นอกจากนี้กุ้งสามารถกินแพลงก์ตอนพืชได้อีกด้วยในกรณีที่แพลงก์ตอนพืชนั้นเกาะติดอยู่กับซากเน่าเปื่อย (Gómez-Aguirre and Martínez-Córdova, 1998)

ในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงร่วมกับสาหร่ายไส้ไก่พบสัตว์หน้าดิน 9 กลุ่มใน 3 Phylum ได้แก่ Phylum Arthropoda พบ 5 อันดับ (Order) ได้แก่ Order Diptera Order Cladocera Order Ostracoda Order Amphipoda และ Order Copepoda Phylum Mollusca พบ หอยสองฝา (bivalve) และ หอยฝาเดียว (gastropod) และ Phylum Annelida โดยสัตว์หน้าดินกลุ่มหลักที่พบเป็นกลุ่มหนอนแดง (chironomid) และหอยสองฝา และพบว่าสัตว์หน้าดินในบ่อที่มีสาหร่ายไส้ไก่มีปริมาณมากกว่าในบ่อที่ไม่มีสาหร่าย โดยปริมาณสัตว์หน้าดินที่เกิดขึ้นมีความสัมพันธ์กับมวลชีวภาพของสาหร่ายไส้ไก่ในบ่ออย่างมีนัยสำคัญ (จริยาวดี, 2551)

นอกจากนี้ จากการศึกษาบทบาทของกำลังผลิตธรรมชาติ (Natural Productivity) ในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบ modified extensive shrimp pond พบว่า ชนิดและปริมาณของประชากรแพลงก์ตอนพืชมีค่าสูงในช่วง 6 สัปดาห์แรกของการเลี้ยง หลังจากนั้นจึงมีปริมาณลดลงและคงระดับเช่นนั้นไปจนตลอดการเลี้ยง สำหรับแพลงก์ตอนสัตว์กลุ่มหลักที่พบ ได้แก่ โรติเฟอร์ โคพิพอด และเคย (mysid) โดยปริมาณโรติเฟอร์และโคพิพอดมีมาก และเป็นกลุ่มเด่นตั้งแต่เริ่มต้นจนถึง 1 เดือนแรกของการเลี้ยง และเคยเริ่มมีปริมาณมากในสัปดาห์ที่ 3 ของการเลี้ยงและเป็นกลุ่มเด่นหลังจากนั้น โดยชนิดของแพลงก์ตอนสัตว์ที่พบในระหว่างการเลี้ยง ได้แก่ *Brachionus plicatilis*, *Keratella* spp., *Pseudodiaptomus annandalei*, *Paracalanus aculetaus*, *Oithona brevicornis*, *Microstella norvegica* และ *Mesopodopsis zeylanica* (Moorthy and Altaff, 2002)

- ตัวแปรไม่มีชีวิต (abiotic factors)

คุณภาพน้ำ

คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงมีการเปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาการเลี้ยงกุ้ง พุทธ และคณะ (2537) ได้รายงานถึงการศึกษาสหสัมพันธ์เชิงเส้นของตัวแปรคุณภาพน้ำในแต่ละช่วงของระยะเวลาที่ใช้ในการเลี้ยงกับข้อมูลการเลี้ยงกุ้งว่า ความหนาแน่นที่ปล่อยกุ้งลงเลี้ยงมีส่วนสำคัญอย่างยิ่งที่จะทำให้คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงต่ำลง โดยเฉพาะตัวแปรแอมโมเนียรวม ไนไตรท์ บีโอดี และความโปร่งใส ทำให้ระยะเวลาที่ใช้ในการเลี้ยงกุ้งสั้นลง อัตรารอดต่ำ และกุ้งโตช้า ผลผลิตลดลง ความหนาแน่นเป็นตัวแปรเบื้องต้นที่กำหนดปริมาณอาหารที่กุ้งกินและของเสียที่ขับถ่ายออกมา แอมโมเนียเป็นองค์ประกอบหลักของสารประกอบไนโตรเจนที่กุ้งขับถ่ายออกมา (Wickins, 1985) และแอมโมเนียก็เป็นสารประกอบที่มีพิษต่อสัตว์น้ำหลายชนิด (Wajsbrot *et al*., 1989) โดยระดับ LC_{50} ของแอมโมเนียอิสระ (NH_3) ต่อกุ้งกุลาดำวัยรุ่นเท่ากับ 0.77 มก./ล. และเมื่อคำนวณให้เป็นระดับปลอดภัยโดยใช้ application factor = 0.1 (Chen *et al*., 1990) ก็จะได้ระดับปลอดภัยของแอมโมเนียรวมเท่ากับ 0.675 มก./ล.

จากการสำรวจคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้ง จะเห็นได้ว่าปริมาณแอมโมเนียรวมที่พบในบ่อเลี้ยงกุ้ง อาจจะมีค่าสูงกว่าระดับปลอดภัย โดยมีค่าสูงถึง 2.6 มก./ล. แต่อย่างไรก็ยังต่ำกว่าระดับ LC_{50} ดังนั้นตัวแปรแอมโมเนียรวมในบ่อเลี้ยงกุ้งจึงมีผลลบต่อการเติบโตของกุ้งเท่านั้น การเพิ่มขึ้นของปริมาณแอมโมเนียรวมในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาตามระยะเวลาเลี้ยงเป็นคุณลักษณะเด่นประการหนึ่งของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้ง เนื่องจากในอาหารเลี้ยงกุ้งมีปริมาณไนโตรเจนสูง (Wang, 1990) ไนโตรเจนเหล่านี้จะถูกขับถ่ายออกมาถึง 13-32% ของไนโตรเจนทั้งหมดที่กุ้งบริโภคเข้าไป และไนโตรเจนที่ขับถ่ายออกมานี้จะอยู่ในรูปแอมโมเนียประมาณ 75% (Wickins, 1985) ปริมาณแอมโมเนียรวมของน้ำในบ่อที่ปล่อยกุ้งลงเลี้ยงมากกว่า 50 ตัว/ตร.ม. จะเพิ่มขึ้นในอัตราที่เร็วกว่าการเพิ่มขึ้นของแอมโมเนียในบ่อที่ปล่อยกุ้งลงเลี้ยง 25-30 ตัว/ตร.ม. ทั้งนี้เนื่องจากในระบบการเลี้ยงที่ปล่อยกุ้งในความหนาแน่นสูงมีการให้อาหารเฉลี่ยในปริมาณที่สูงกว่า (คณิตและคณะ, 2535)

ออกซิเจนเป็นปัจจัยหนึ่งที่กำหนดศักยภาพในการผลิตกุ้งและควบคุมกระบวนการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจน จากค่าอัตราแลกเนื้อที่สูงและคุณภาพน้ำ เช่น แอมโมเนียและไนไตรท์ที่สะสมเพิ่มมากขึ้น และความต้องการออกซิเจนที่มากขึ้น ชี้ให้เห็นว่า การเลี้ยงกุ้งระบบปิดที่มีการจัดการให้อาหารที่ไม่เหมาะสม เช่นมีการให้อาหารที่มากเกินไป ทำให้มีสารอาหารเหลือสะสมอยู่ในบ่อเลี้ยงกุ้งทั้งในน้ำและดินก้นบ่อ การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำและดินที่เกิดขึ้นจากการเลี้ยงใน

ระบบปิดจะส่งผลให้ปริมาณและความต้องการออกซิเจนของบ่อเลี้ยงกุ้งเปลี่ยนแปลงไป ทำให้กุ้งที่เลี้ยงในระบบปิดมีการเจริญเติบโตน้อยลง ดังนั้น จึงต้องมีการควบคุมระดับออกซิเจนในบ่อเลี้ยงกุ้งให้มีออกซิเจนเพียงพอกับความต้องการของกุ้งเพื่อการเจริญเติบโตที่ดีตลอดระยะเวลาเลี้ยง

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำนั้น นอกจากจะสำคัญต่อการเจริญเติบโตที่ดีของกุ้งแล้ว ยังมีความจำเป็นในการย่อยสลายของสารอินทรีย์และกระบวนการไนตริฟิเคชั่นในบ่อเลี้ยงกุ้ง Madenjian (1990) ได้รายงานถึงความต้องการออกซิเจนในบ่อเลี้ยงกุ้งที่ใช้เพื่อการหายใจ พบว่าความต้องการออกซิเจนของน้ำ (water column) เพียงอย่างเดียวจะมีถึง 45% ของการบริโภคออกซิเจนทั้งหมด ส่วนการบริโภคออกซิเจนของกุ้งจะมีประมาณน้อยกว่า 10% และส่วนที่เหลือนั้นจะเป็นการใช้ออกซิเจนของพื้นก้นบ่อ การบริโภคออกซิเจนของกุ้งทั้งบ่ออาจจะสูงถึงระดับ 0.8-1.2 มก./ล./ชม. อาจจะทำให้ปริมาณออกซิเจนละลายในตอนเช้าตรู่ของบ่อเลี้ยงต่ำกว่าจุดที่ทำให้มีการเจริญเติบโตได้อย่างปกติ (4 มก./ล.) โดยเฉพาะในบ่อที่ไม่สามารถเติมอากาศได้อย่างพอเพียง ส่วนในเวลากลางวัน Erez และคณะ (1990) ได้รายงานว่าในช่วงเวลากลางวันแพลงก์ตอนที่พบหนาแน่นในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำสามารถผลิตออกซิเจนออกมาละลายอยู่ในน้ำได้ถึง 10 เท่าของปริมาณออกซิเจนที่แพลงก์ตอนเหล่านี้ใช้ไปในการหายใจ ทำให้ปริมาณออกซิเจนในช่วงบ่ายแตกต่างจากช่วงเช้าตรู่มากและจะยิ่งมากขึ้นเมื่อค่าความโปร่งใสน้อยลง ออกซิเจนที่มากในเวลากลางวันเป็นประโยชน์สำหรับการย่อยสลายสารอินทรีย์ และการหมุนเวียนแร่ธาตุ

คุณภาพดิน

ตะกอนดินจากพื้นบ่อเลี้ยงกุ้งก็มีความสำคัญต่อการเลี้ยงกุ้ง เพราะกุ้งใช้พื้นบ่อในการหากินและดำรงชีพ ศักยภาพในการรองรับผลผลิตกุ้งจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติและของเสียที่สะสมอยู่ในตะกอน ความสกปรกของก้นบ่อเกิดจากเศษอาหาร ซากแพลงก์ตอนพืช และสิ่งมีชีวิตที่ตายทับถมกันตลอดระยะเวลาเลี้ยง ผลจากการศึกษาคุณภาพตะกอนดินของ ดุสิตและคณะ (2536) พบว่าอัตราการตกตะกอน ปริมาณแอมโมเนียในตะกอนดิน ฟอสฟอรัสรวม ไนโตรเจนรวม และไฮโดรเจนซัลไฟด์ เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาเลี้ยง และตะกอนดินสามารถปล่อยแอมโมเนีย ออกมาสู่มวลน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งได้

จากการศึกษาเปรียบเทียบสารอาหารในดิน (soil nutrients) จากฟาร์มเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนา กึ่งพัฒนา และฟาร์มเลี้ยงกุ้งแบบอินทรีย์ พบว่าการเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนามีการสะสมของฟอสฟอรัสในดินสูงที่สุด (282.7 มก./กก.) รองลงมาคือการเลี้ยงกุ้งแบบกึ่งพัฒนา (103.9 มก./กก.) และการเลี้ยงกุ้งในระบบอินทรีย์มีการสะสมฟอสฟอรัสน้อยที่สุด (25.5-33.7 มก./กก.) สังเกตว่าการเลี้ยงกุ้งในระบบอินทรีย์มีสารอินทรีย์และฟอสฟอรัสสะสมในดินน้อยกว่า ชี้ให้เห็นว่าการเลี้ยงกุ้ง

แบบพัฒนาและกึ่งพัฒนามีการปล่อยสารอาหารออกสู่สิ่งแวดล้อมในปริมาณสูง ดังนั้นระบบการเลี้ยงกุ้งแบบอินทรีย์จะเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและก่อให้เกิดความยั่งยืนมากกว่า (Schober *et al*., 2007)

2.4 สาหร่ายไส้ไก่

- ชีววิทยา

อนุกรมวิธานของสาหร่ายไส้ไก่ (Vashishta, 1983; Guiry and Guiry, 2011)

Division Chlorophyta

Class Chlorophyceae

Order Ulvales

Family Ulvaceae

Genus *Ulva*

Species *intestinalis*

ลักษณะทั่วไปของสาหร่ายไส้ไก่

ทัลลัส (thallus) มีลักษณะเป็นหลอดกลวง มีสีเขียวสด หรืออาจมีสีเขียวอ่อนถึงเขียวเข้ม ส่วนโคนแคบและขยายใหญ่ตอนปลายโดยมีขนาดกว้างได้ถึง 2 เซนติเมตร (รูปที่ 2-5) ต้นอ่อนอาจมีลักษณะเรียบ ต้นแก่มีลักษณะยับย่นเหมือนไส้ไก่ (Lewmanomont and Ogawa, 1995) มีอากาศอยู่ด้านใน จึงสามารถลอยน้ำได้ ผนังเซลล์มีความหนาเพียง 1 ชั้นเซลล์ (single layer) ยึดเกาะกับวัสดุโดยใช้ rhizoid ซึ่งส่วนใหญ่สายของสาหร่ายที่อ่อนอยู่จะยึดเกาะกับวัสดุ ส่วนสายที่แก่กว่าใหญ่กว่า จะลอยอย่างอิสระบนผิวน้ำ (Vashishta, 1983) โดยสายของสาหร่ายอาจเรียบหรือมีแขนง ซึ่งแขนงที่ติดอยู่จะมีขนาดกว้างประมาณ 1 มิลลิเมตร สามารถหลุดออกจากต้นแม่ได้ง่ายและเจริญเติบโตต่อไปได้ (Lewmanomont and Ogawa, 1995) สาหร่ายชนิดนี้สามารถเติบโตได้ยาวมาก บางครั้งพบขนาดยาวมากกว่า 20 เซนติเมตร เมื่อสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสม สาหร่ายจะหลุดจากแหล่งยึดเกาะแล้วดำรงชีพแบบล่องลอยอิสระ

สาหร่ายไส้ไก่สามารถแพร่พันธุ์ได้ทั้งแบบแตกแขนงหรือหน่อออกจากต้นเดิม และการแพร่พันธุ์แบบอาศัยเพศโดยการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ (gametes) ซึ่งเป็นระยะ gametophyte เมื่อเซลล์สืบพันธุ์ 2 เซลล์รวมกันกลายเป็นตัวอ่อน (zygote) แล้วจึงพัฒนาโดยการแบ่งเซลล์แบบ mitosis ซ้ำๆ จนเป็นทัลลัส ในระยะ sporophyte ซึ่งมีการแบ่งเซลล์แบบ meiosis เพื่อผลิต

quadriflagellate spores ที่เรียกว่า meiozoospores หรือ gonozoospores โดยที่สปอร์เหล่านี้จะเป็นตัวสร้างเซลล์สืบพันธุ์ (gametes) ต่อไป (Vashishta, 1983)

รูปที่ 2-5 ทัลลัสของสาหร่ายไส้ไก่ที่เลี้ยงในบ่อคอนกรีตในโรงเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

- นิเวศวิทยา

สาหร่ายไส้ไก่พบทั่วไปในทะเลทั่วทุกระดับของแนวชายฝั่ง โดยเฉพาะบริเวณที่มีน้ำจืดไหลลงมา แต่บางครั้งก็สามารถพบได้ในน้ำจืด สามารถอยู่ได้ในระดับอุณหภูมิตั้งแต่ 2°C – 30°C จึงพบมีการแพร่กระจายทั่วโลก และสามารถพบได้ตามแอ่งน้ำในเขตน้ำขึ้นน้ำลง ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความเค็มสูง (Sze, 1986) นอกจากนี้ยังพบขึ้นบนพื้นโคลนหรือบนก้อนหินบริเวณแหล่งน้ำกร่อย ปากแม่น้ำ ตั้งแต่เขตน้ำขึ้นน้ำลงไปจนถึงเขตต่ำกว่าระดับน้ำลงต่ำสุด และยังพบได้ในบ่อเลี้ยงปลา สาหร่ายชนิดนี้สามารถเจริญได้ในแหล่งน้ำที่มีความเค็มต่ำและทนต่อการเปลี่ยนแปลงในช่วงกว้าง (Lewmanomont and Ogawa, 1995) และสามารถทนอยู่ในแหล่งน้ำที่มีระดับของสารอาหารสูง ดังนั้นการพบสาหร่ายไส้ไก่จึงสามารถใช้เป็นตัวชี้วัดแหล่งน้ำชายฝั่งที่มีสารอาหารสูงได้

สาหร่ายไส้ไก่ เป็นสาหร่ายที่สามารถลอยได้ในน้ำ ดังนั้นจึงชอบเกาะติดกับพื้นผิว เช่น หิน ไม้ กิ่งไม้หรือแม้แต่เปลือกหอย (Martins *et al*., 1999) สาหร่ายไส้ไก่มีคุณสมบัติพิเศษที่ทำให้สามารถเติบโตได้ดีในที่ๆมีสภาวะแวดล้อม แตกต่างกัน เช่น ที่ที่มีความเค็มและอุณหภูมิ ผันแปรสูง สามารถสังเคราะห์แสงได้ดีแม้ในที่มีความเข้มของแสงต่ำ และยังมีความสามารถในการดูดซับเอาไนโตรเจนในน้ำและเติบโตเร็ว และสามารถเก็บสารประกอบไนโตรเจนไว้ในลำต้นได้ปริมาณมาก (Fong *et al*., 1998) จึงทำให้น้ำมีคุณสมบัติดีขึ้นและทำให้ธาตุอาหารในน้ำลดลง

Kamer และ Fong (2001)ได้ศึกษาผลของสารประกอบไนโตรเจน และความเค็มต่อการเติบโต การสะสมมวลชีวภาพ และพลวัตของธาตุอาหารในเนื้อของสาหร่ายไส้ไก่ พบว่าการเพิ่มไนโตรเจนทำให้สาหร่ายโตเพิ่มขึ้น และในสภาวะที่ความเค็มต่ำการเพิ่มไนโตรเจนจะทำให้มวลชีวภาพของสาหร่ายเพิ่มขึ้น และความสามารถในการดูดซับฟอสฟอรัสและการเพิ่มปริมาณสาหร่ายขึ้นกับการเพิ่มไนโตรเจนที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ และสาหร่ายชนิดนี้สามารถเติบโตได้ดีในน้ำที่มีธาตุอาหารสูง

นอกจากนี้พบว่าสาหร่ายไส้ไก่มีบทบาทต่อการดำรงชีวิตของสัตว์ในระบบนิเวศโดยในเขต supralittoral rock pools ซึ่งมีสภาพแวดล้อมที่มีความผันแปรสูงมากทั้งในเรื่องของความเค็ม อุณหภูมิ และปริมาณออกซิเจน ทำให้มีสัตว์เพียงสองชนิดเท่านั้นที่สามารถอยู่ได้ คือ orange harpacticoid copepod (*Tigriopus brevicornis*) และ chironomid larva (*Haocadius fucicola*) และมีสาหร่ายเพียงชนิดเดียวเท่านั้นที่สามารถอยู่ในบริเวณนี้ได้ คือ สาหร่ายไส้ไก่โดยสาหร่ายจะมีบทบาทในการเป็นที่อยู่หรือที่หลบซ่อนให้กับสัตว์ในเวลาที่ rockpool แห้ง โดยพบ *T. brevicornis* จำนวน 200-300 ตัวในสาหร่ายไส้ไก่เพียงสายเดียว ซึ่งการศึกษาครั้งนี้สามารถอธิบายเหตุผลที่สัตว์เหล่านี้สามารถอาศัยอยู่ในเขต supralittoral rockpool ที่แห้งเป็นเวลา 2-3 สัปดาห์ (McAllen, 1999)

ในระบบของแหล่งน้ำชายฝั่งหรือทะเลที่ตื้น สาหร่ายขนาดใหญ่มีความสำคัญในฐานะของผู้ผลิตขั้นต้น และทำหน้าที่เป็นทั้งแหล่งสะสม และปลดปล่อยธาตุอาหารออกสู่สิ่งแวดล้อม และเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของสิ่งมีชีวิตในระดับของห่วงโซ่อาหารที่สูงขึ้น (higher trophic levels) (Kwak and Zedler, 1997) Martins และคณะ (1999) ได้รายงานเช่นกันว่า ในสภาวะที่สาหร่ายไส้ไก่มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วจนปกคลุมเป็นแผ่นหนาอยู่ในแหล่งน้ำ สาหร่ายไส้ไก่จะแสดงบทบาทสำคัญในการควบคุมพลวัตของธาตุอาหารในแหล่งน้ำนั้น และทำหน้าที่เป็นอาหารที่มีคุณค่าสูงต่อจุลินทรีย์ สัตว์หน้าดินขนาดเล็กและขนาดใหญ่

2.5. การกินอาหารและองค์ประกอบในกระเพาะอาหารของกุ้ง

- องค์ประกอบในกระเพาะอาหารของกุ้งที่พบในธรรมชาติ

Angsupanich และคณะ (1999) ศึกษาองค์ประกอบในกระเพาะอาหารของกุ้ง banana prawns 2 ชนิด ในอ่าวตำมะลัง จังหวัดสตูล ทางภาคใต้ของประเทศไทย โดยเก็บตัวอย่างกุ้งใน 2 ช่วงเวลา คือ ช่วงฤดูลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (เดือนกรกฎาคม) และฤดูลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (เดือนธันวาคม) พบว่า ในกระเพาะอาหารของกุ้ง *Penaeus indicus* และกุ้ง *Penaeus merguiensis* ประกอบด้วยอาหารธรรมชาติ 7 ชนิดหลัก โดยมีความถี่ที่พบ (frequency of

occurrence) ดังนี้ หอยสองฝา (bivalves) 56-89%, หอยฝาเดียว (gastropods) 44-83%, แอมฟิพอด (amphipods) 16-71%, โพลิคีต (polychaetes) 4-29%, ฟอแรมมินิเฟอแรน (foraminiferans) 20-44%, ชิ้นส่วนพืช (plant tissue) 25-52% และ ไดอะตอม (diatoms) 4-23% ซึ่งหอยสองฝาและหอยฝาเดียวเป็นสิ่งมีชีวิตชนิดเด่นที่พบ อย่างไรก็ตามปริมาณของสิ่งมีชีวิตทั้งในเชิงความถี่ (frequency of occurrence) และองค์ประกอบเชิงปริมาณ (numerical composition) ที่พบไม่แตกต่างกันในกุ้งทั้งสองชนิดนี้ และปริมาณเปลี่ยนแปลงขึ้นกับฤดูกาล และหอยสองฝาและแอมฟิพอดพบในเดือนกรกฎาคมมากกว่าในเดือนธันวาคม ขณะที่แกสโทรพอดและโพลิคีตพบในเดือนธันวาคมมากกว่าในเดือนกรกฎาคม และพบฟอแรมมินิเฟอแรน ชิ้นส่วนพืช และไดอะตอม เสมอแต่ปริมาณต่อตัวที่พบต่ำ (ตารางที่ 2-3 และ 2-4)

ส่วน Nandakumar และ Damodaran (1998) ศึกษาชนิดอาหารและพฤติกรรมการกินอาหารของกุ้ง *Metapenaeus monoceros* (Fabricius) ในธรรมชาติ พบว่า ชนิดอาหารที่กุ้งกินแตกต่างกันระหว่างสิ่งแวดล้อมที่กุ้งอยู่อาศัยที่เป็นทะเลและน้ำกร่อย โดยกุ้งที่อาศัยอยู่บริเวณชายฝั่งทะเลกินโพลิคีตเป็นหลัก ขณะที่กุ้งในแหล่งน้ำกร่อยกินพวกครัสเตเชียนเป็นหลัก นอกจากนี้พบว่ากุ้งมีพฤติกรรมกินอาหารในช่วงกลางคืนมากกว่ากลางวัน และพบว่ากุ้งเพศเมียที่อยู่ในระยะสมบูรณ์เพศกินอาหารมากกว่ากุ้งที่ไม่สมบูรณ์เพศ กุ้งระยะวัยรุ่น (juvenile) และระยะตัวเต็มวัย (adult) กินอาหารไม่แตกต่างกัน ซึ่งจากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่ากุ้ง *M. monoceros* (Fabricius) เป็นสัตว์กินเนื้อ (carnivorous) ซึ่งกินพวกสัตว์ เป็นอาหารหลัก โดยนิสัยการกินนี้ไม่ขึ้นอยู่กับขนาด เพศ และแหล่งที่อยู่อาศัย

ตารางที่ 2-3 องค์ประกอบในกระเพาะอาหารของกุ้ง *Penaeus indicus* ในเดือนกรกฎาคม และเดือนธันวาคม ปี ค.ศ. 1994 (Angsupanich *et al*., 1999)

Food item	Frequency of occurrence (%)			Numerical composition (%)		
	July	Dec	Mean	July	Dec	Mean
Bivalvia						
Unidentified species	81.3	56.0	68.6	42.0	23.2	32.6
Gastropoda						
Unidentified species	43.8	76.0	59.9	9.8	40.5	25.1
Crustacea						
Amphipoda	70.8	16.0	43.4	35.1	7.8	21.4
Brachyura	2.1	0.0	1.0	0.1	0.0	0.0
Isopoda	4.2	0.0	2.1	0.2	0.0	0.1
Mysidacea	2.1	0.0	1.0	0.3	0.0	0.2
Foraminifera						
Unidentified species	39.6	20.0	29.8	4.9	5.0	4.9
Polychaeta						
Unidentified species	4.2	24.0	14.1	0.1	4.6	2.4
Bacillariophyceae						
Unidentified species	14.6	4.0	9.3	1.0	1.3	1.2
Others						
Plant tissue	25.0	52.0	38.5	4.0	11.3	7.6
Unidentified egg	0.0	8.0	4.0	0.0	6.3	3.1
Fish scale	4.2	0.0	2.1	2.6	0.0	1.3

ตารางที่ 2-4 องค์ประกอบในกระเพาะอาหารของกุ้ง *Penaeus merguiensis* ในเดือนกรกฎาคม และเดือนธันวาคม ปี ค.ศ. 1994 (Angsupanich *et al*., 1999)

Food item	Frequency of occurrence (%)			Numerical composition (%)		
	July	Dec	Mean	July	Dec	Mean
Bivalvia						
Unidentified species	89.1	72.4	80.7	49.2	34.9	42.0
Gastropoda						
Unidentified species	52.0	82.9	67.5	12.7	37.7	25.2
Crustacea						
Amphipoda	64.3	28.5	46.4	22.7	8.7	15.7
Brachyura	2.7	2.4	2.6	0.1	1.3	0.7
Cirripedia	0.0	0.8	0.4	0.0	0.5	0.2
Copepoda	2.2	2.4	2.3	0.5	0.2	0.3
Isopoda	5.5	0.8	3.1	0.6	0.1	0.3
Mysidacea	0.5	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0
Foraminifera						
Unidentified species	43.6	30.9	37.2	6.0	2.7	4.3
Polychaeta						
Unidentified species	7.6	29.3	18.5	1.0	8.7	4.9
Bacillariophyceae						
Unidentified species	22.9	4.9	13.9	2.5	1.1	1.8
Nematoda						
Unidentified species	0.0	1.6	0.8	0.0	0.1	0.1
Others						
Plant tissue	31.6	35.0	33.3	4.0	3.4	3.7
Unidentified egg	0.0	0.8	0.4	0.0	0.8	0.4
Fish scale	2.2	0.0	1.1	0.7	0.0	0.4

- องค์ประกอบในกระเพาะอาหารของกุ้งที่เลี้ยงในบ่อ

การศึกษาบทบาทของผลผลิตธรรมชาติในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบ modified extensive shrimp pond ของ Moorthy และ Altaff (2002) พบว่า องค์ประกอบในลำไส้ของกุ้งกุลาดำประกอบด้วย เม็ดทราย (sand grains) แพลงก์ตอนสัตว์ (zooplankton) อาหารสำเร็จรูป (pellet food) และองค์ประกอบที่ถูกย่อยแล้วและจำแนกไม่ได้ (unidentified food) ในปริมาณ 43%, 16%, 21% และ 20% ตามลำดับ โดยเปอร์เซ็นต์ขององค์ประกอบเปลี่ยนแปลงไปตามขนาดของกุ้ง และในการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าอาหารธรรมชาติมีบทบาทสำคัญต่อการเติบโตของกุ้งในช่วงแรกของการเลี้ยง

Focken และคณะ (1998) ศึกษาปริมาณอาหารธรรมชาติและอาหารเสริมสำเร็จรูปในลำไส้ของกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงในระบบกึ่งพัฒนา ในประเทศฟิลิปปินส์ โดยเลี้ยงกุ้งในบ่อเป็นเวลา 19 สัปดาห์ เก็บตัวอย่างเพื่อศึกษาองค์ประกอบของอาหารในลำไส้เมื่อเลี้ยงกุ้งได้ 6, 11 และ 16 สัปดาห์ โดยเก็บข้อมูลทุกๆชั่วโมง ภายใน 1 วัน ซึ่งเมื่อเลี้ยงไป 6 สัปดาห์ พบว่าลำไส้กุ้งประกอบด้วยอาหารสำเร็จรูป 28.9% วัตถุที่เป็นพืช 42.3% พวกครัสเตเชียน 1.8% และอินทรียวัตถุเน่าเปื่อยอื่นๆ อีก 27% เมื่อเลี้ยงไป 11 สัปดาห์ พบว่า เปอร์เซ็นต์ปริมาณอาหารในลำไส้ เท่ากับ 47.5%, 21.1%, 22.8% และ 8.6% และที่ 16 สัปดาห์ เท่ากับ 21.7%, 34.3%, 31.7%, และ 12.9% ตามลำดับ ซึ่งชนิดของอาหารที่กุ้งกินใน 1 วันไม่ได้เปลี่ยนไปตามช่วงเวลา แต่ปริมาณการกินจะแตกต่างกันตามช่วงเวลา โดยที่เมื่อ 6 สัปดาห์ กิจกรรมการกินอาหารของกุ้งจะเกิดขึ้นมากที่สุดในช่วงกลางคืน หลังจากนั้นจะค่อยๆเลื่อนไปกินมากในช่วงกลางวัน ทั้งนี้การลดลงของปริมาณอาหารในลำไส้จะขึ้นอยู่กับปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ซึ่งต่ำกว่า 4 มก./ล. ในช่วงกลางคืน และเป็นตัวชี้ให้เห็นถึงสาเหตุที่กุ้งเปลี่ยนไปกินอาหารในช่วงกลางวันซึ่งมีปริมาณออกซิเจนสูงกว่า

Nunes และคณะ (1997) ศึกษาการย่อยอาหารของกุ้ง brown shrimp (*Penaeus subtilis*) ที่เลี้ยงในระบบกึ่งพัฒนาทางตะวันออกเฉียงเหนือของบราซิล ซึ่งในประเทศบราซิล ได้มีความพยายามที่จะเพิ่มกำลังผลิตของฟาร์มกุ้ง โดยมุ่งไปที่การเลี้ยงกุ้งชนิดพื้นบ้านแบบกึ่งพัฒนา งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาเรื่อง stomach contents ซึ่งพบว่า แหล่งอาหารหลักของกุ้งตลอดการศึกษา คืออาหารธรรมชาติภายในบ่อ ซึ่งเป็นกลุ่มสิ่งมีชีวิต (biota) โดยมีอาหารสำเร็จรูปเพียง 15.61% ของกระเพาะอาหาร คิดเป็น 24.91% ของ carbon growth ส่วนที่เหลือจะเป็นอาหารธรรมชาติ (75.09%) โดยพวกโพลิคีต (polychaetes) เป็นกลุ่มที่มีความสำคัญมากที่สุด คิดเป็น 80.83% ของอาหารธรรมชาติที่กิน ซึ่งในช่วงแรกของการเจริญเติบโตกุ้งจะเป็นพวกกินซากเน่าเปื่อย (detritivorous) หลังจากเริ่มโตแล้วจะเปลี่ยนพฤติกรรมมาเป็นพวกกินเนื้อ (carnivorous) โดยสรุป จากการศึกษานี้กุ้ง brown shrimp มีพฤติกรรมการกินอาหารแบบ benthic omnivorous

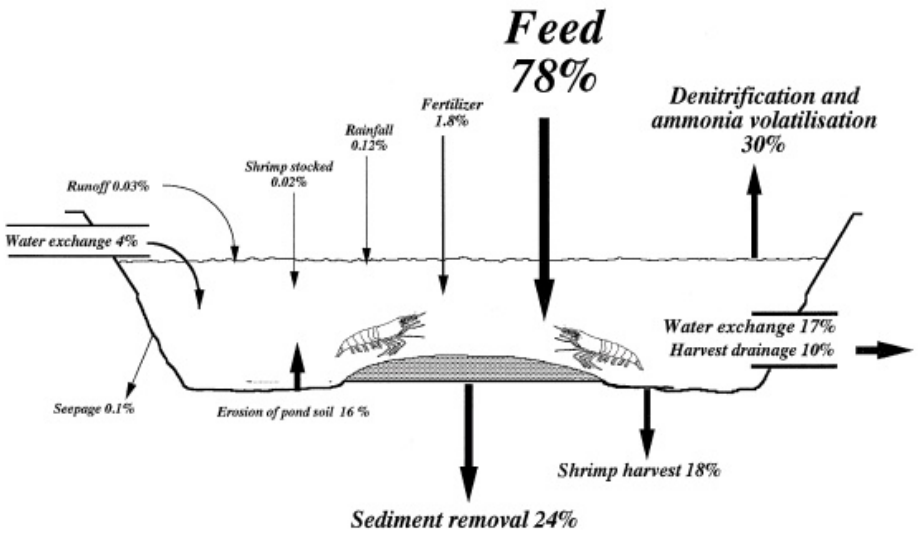
Martinez-Cordova และคณะ (2003) ศึกษา ผลของระดับโปรตีนในอาหารสำเร็จรูปและจากการจัดการอาหารธรรมชาติ ต่อผลผลิตกุ้งฟ้า (blue shrimp, *Litopenaeus stylirostris*) และกุ้งขาว (white shrimp, *Litopenaeus vannamei*) และคุณภาพน้ำในระบบ microcosms ทำการทดลองโดยใช้อาหารสำเร็จรูปที่มีโปรตีนต่ำ (250 ก./กก. crude protein, LP), อาหารสำเร็จรูปที่มีโปรตีนสูง (450 ก./กก. crude protein, HP) และอาหารที่มีระดับโปรตีนหลายๆระดับขึ้นอยู่กับความชุกชุมของพวกสิ่งมีชีวิต (zooplankton และ benthos, VP) ในระบบ ผลการศึกษาพบว่า ในชุดการทดลองที่ใช้อาหารระดับโปรตีนต่ำในกุ้งขาว มีปริมาณกุ้ง การเติบโต และ FCR ดีที่สุด สำหรับคุณภาพน้ำ เช่น ไนเตรท แอมโมเนีย สารอินทรีย์ ของชุดการทดลอง LP และ VP ดีกว่าชุดการทดลอง HP และกุ้ง

ขาวดูเหมือนจะมีความต้องการโปรตีนต่ำกว่ากุ้งฟ้า สำหรับการเลี้ยงกุ้งฟ้า การปรับระดับโปรตีนตามความชุกชุมของอาหารธรรมชาติ (zooplankton และ benthos) จะได้ประโยชน์มากกว่า เนื่องจากให้ผลผลิตกุ้งมากพอๆกับการเลี้ยงด้วยอาหารสำเร็จรูปที่มีระดับโปรตีนสูง และมีต้นทุนค่าอาหารที่ต่ำกว่า อีกทั้งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าด้วย นอกจากนี้ พบว่าการใช้อาหารระดับโปรตีนสูงในการเลี้ยงกุ้ง ไม่ใช่วิธีการให้อาหารที่ดีที่สุดสำหรับกุ้งทั้ง 2 ชนิดนี้ ดังนั้นในการเลี้ยงกุ้งหากมีการสร้างอาหารธรรมชาติในบ่อให้มีเพียงพอก็จะสามารถลดต้นทุนและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้

2.6. ดุลของสารอาหารในบ่อเลี้ยงกุ้ง

- ดุลไนโตรเจน

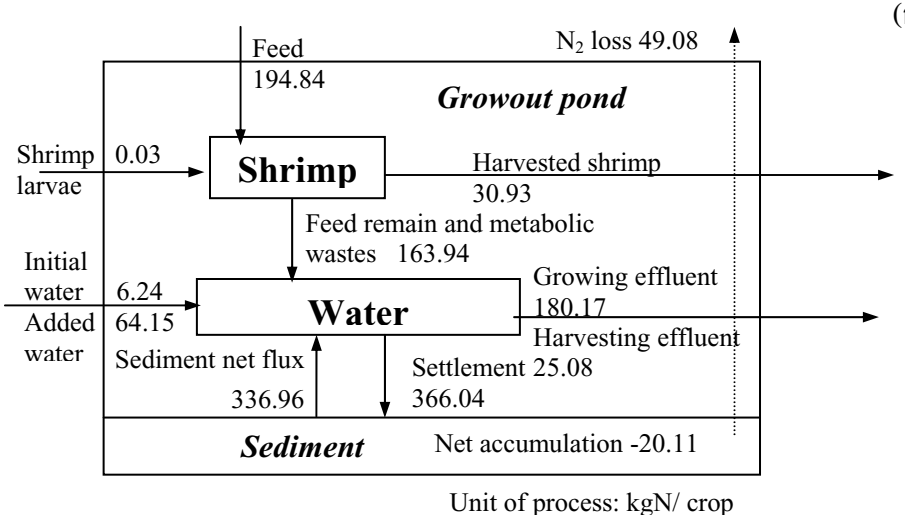
ดุลไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนา (รูปที่ 2-6) สามารถอธิบายตามแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ โดยที่ 78% ของไนโตรเจนที่เข้าสู่บ่อเลี้ยงมาจากอาหารสำเร็จรูปที่ให้กุ้งกินประมาณ 16% มาจากการกัดกร่อนของดินในบ่อ นอกจากนี้ยังมีไนโตรเจนมาจากน้ำที่เติมเข้าสู่บ่อ 4% จากปุ๋ย น้ำฝน และลูกกุ้งรวมกัน 2% และไนโตรเจนออกจากระบบอยู่ในตะกอนดิน 24% เป็นผลผลิตกุ้งทะเล 18% น้ำที่ถ่ายออก 27% และไนโตรเจนสูญเสียออกจากบ่อในรูปก๊าซไนโตรเจนและแอมโมเนียที่ระเหยออกไป 30% ซึ่งเกิดจากกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพของแบคทีเรีย โดยเฉพาะกระบวนการในการเปลี่ยนสารประกอบไนโตรเจนเป็นก๊าซไนโตรเจน



รูปที่ 2-6 ดุลไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนาระบบเปิดในประเทศไทย (Funge-Smith and Briggs, 1998)

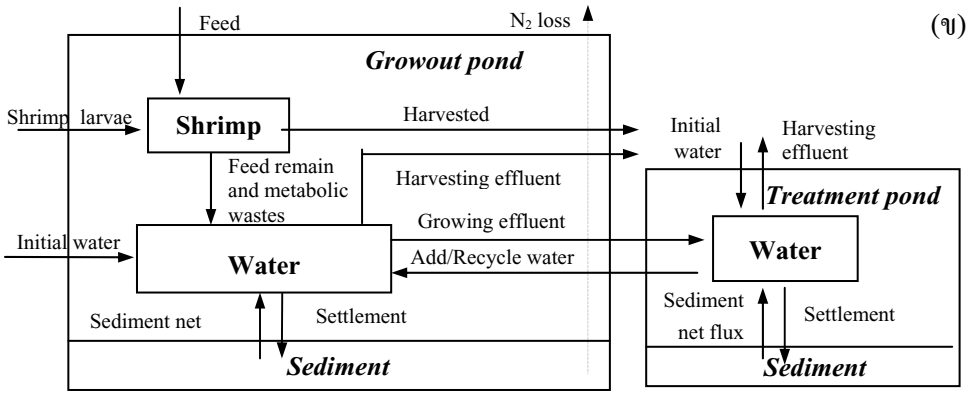
นอกจากนี้ พุทธ และคณะ (2547) ได้ประเมินดุลไนโตรเจนของการเลี้ยงกุ้งกุลาดำในระบบเปิดและระบบปิดหมุนเวียน พบว่า การแลกเปลี่ยนไนโตรเจนระหว่างพื้นก้นบ่อและน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งระบบเปิดและระบบปิดหมุนเวียน มีค่าระหว่าง 337-366 และ 705-842 กก./รุ่น ตามลำดับ โดยมีปริมาณสูงกว่าไนโตรเจนที่ได้รับจากแหล่งต่างๆ เช่น ไนโตรเจนจากอาหาร หรือไนโตรเจนเหลือสุทธิจากการกินอาหารของกุ้งประมาณ 2-4 เท่า ซึ่งข้อมูลการแลกเปลี่ยนไนโตรเจนระหว่างดินและน้ำนี้ ชี้ให้เห็นว่า บ่อเลี้ยงกุ้งระบบปิดถูกใช้รองรับไนโตรเจนที่เหลือจากการผลิตกุ้งในปริมาณมาก ซึ่งนำไปสู่ปัญหาการกินอาหารลดลง ความสกปรกเน่าเสียของพื้นก้นบ่อเลี้ยงและการเจริญเติบโตของกุ้งได้ (รูปที่ 2-7)

(ก)



Unit of process: kgN/ crop

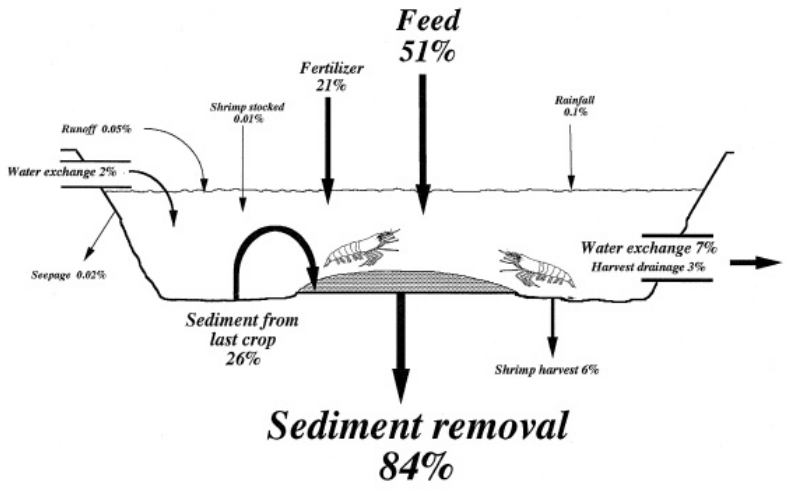
(ข)



รูปที่ 2-7 ดุลไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำระบบเปิด (ก) และระบบปิดหมุนเวียน (ข) (ค่า Net accumulation เท่ากับผลต่างของไนโตรเจนในชั้นตะกอนดินลึก 2 ซม. ในช่วงก่อนและหลังการเลี้ยง โดยค่า FCR = 3.8) (พุทธ และคณะ, 2547)

- ดุลฟอสฟอรัส

สำหรับดุลฟอสฟอรัสในบ่อเลี้ยงกุ้ง พบว่า แหล่งของฟอสฟอรัสส่วนใหญ่มาจากอาหารกุ้งถึง 51% และ 26% มาจากตะกอนดินที่ผ่านการเลี้ยงในรอบที่แล้ว ฟอสฟอรัสออกจากบ่อในรูปของน้ำทิ้ง 10% สะสมอยู่ในตะกอนดิน 84% และอยู่ในผลผลิตกุ้ง 6% (รูปที่ 2-8)



รูปที่ 2-8 ดุลฟอสฟอรัสในบ่อเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนาระบบเปิดในประเทศไทย (Funge-Smith and Briggs, 1998)

Funge-Smith และ Briggs (1998) กล่าวว่า ปัญหาสำคัญที่เกิดขึ้นในประเทศผู้ผลิตกุ้งทั่วโลกก็คือ ปัญหาการลดลงของผลผลิต ซึ่งเกิดจากการเลี้ยงในสภาพแวดล้อมที่ไม่ดีและการเกิดโรค ทำให้เกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งเปลี่ยนแปลงวิธีการเลี้ยง จากความเข้าใจเกี่ยวกับแหล่งของสารอาหารและการตกของสารอาหารที่มีผลกระทบต่อคุณภาพน้ำภายในบ่อและน้ำทิ้ง รวมทั้ง ดุลไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และคุณภาพตะกอน ทำให้นำมาสู่การเลี้ยงแบบเปลี่ยนถ่ายน้ำ ซึ่งจากการศึกษาดุลเหล่านี้ชี้ให้เห็นว่าพื้นบ่อที่เป็นดินจะส่งเสริมให้เกิดการสะสมของตะกอนดิน ฟอสฟอรัส และยังส่งเสริมให้มีไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงอีกด้วย ซึ่ง Teichert-Coddington และคณะ (2000) รายงานว่า 63% ของไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นภายในบ่อมาจากน้ำที่เติมเข้ามาระหว่างเลี้ยง และ 36% มาจากอาหาร ในขณะที่ฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้นมาจากน้ำที่ดึงเข้ามา 51% และมาจากอาหาร 47% โดยที่ 7% ของไนโตรเจนและเกือบ 31% ของฟอสฟอรัสจะถูกตรึงอยู่ในบ่อ นอกจากนี้มีรายงานว่า ตะกอนดินในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำในประเทศออสเตรเลีย มีการสะสมของไนโตรเจนรวมเท่ากับ 2.25 มิลลิกรัม/กรัม และฟอสฟอรัสรวม เท่ากับ 690 ไมโครกรัม/กรัม ซึ่งสูงกว่าปริมาณไนโตรเจนรวมและฟอสฟอรัสรวมในตะกอนดินในเขตป่าชายเลนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Smith, 1996)

บทที่ 3

ผลของสาหร่ายไส้ไก่ (*Ulva intestinalis* Linnaeus) ต่อการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรไม่มีชีวิต (abiotic factors) ในระบบนิเวศบ่อเลี้ยงกุ้งจำลอง

บทคัดย่อ

การศึกษาผลของสาหร่ายไส้ไก่ (*Ulva intestinalis* Linnaeus) ต่อการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรไม่มีชีวิต (abiotic factors) ในระบบนิเวศบ่อเลี้ยงกุ้ง ได้ดำเนินการในบ่อน้ำกร่อยจำลองขนาดเล็ก (brackish water microcosm) ที่ใช้ดินเลนจากบ่อเลี้ยงกุ้งและเติมน้ำความเค็ม 20 ส่วนในพันส่วนในระดับ 10 เซนติเมตร คราดดินเลนเพื่อเพิ่มออกซิเจนหน้าดินและให้สารอาหารในดินเลนละลายออกมาในน้ำ สัปดาห์ละ 1 ครั้ง เป็นเวลา 2 สัปดาห์ แล้วปลูกสาหร่ายไส้ไก่ในระดับ 28 และ 56 กรัมต่อตารางเมตร (T2 และ T3 ตามลำดับ) เปรียบเทียบกับชุดควบคุม (T1) ซึ่งไม่มีการปลูกสาหร่ายไส้ไก่ ผลการศึกษาพบว่า สารอาหารที่ถูกปล่อยออกมาจากดินเลนมีปริมาณเพียงพอในการกระตุ้นให้สาหร่ายไส้ไก่เติบโตได้ 40 เท่า ภายในเวลา 3 สัปดาห์ หลังจากนั้นสาหร่ายจึงเริ่มตายเนื่องจากสัดส่วนไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสต่ำเกินไป ซึ่งเท่ากับ 0.52 ± 0.15 และ 0.44 ± 0.10 ในชุดการทดลองที่ T2 และ T3 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าไนโตรเจนอาจเป็นปัจจัยจำกัด ในการเติบโตของสาหร่ายไส้ไก่ในระบบที่ใช้ดินเลนจากบ่อเลี้ยงกุ้งเป็นแหล่งของสารอาหาร และในสภาวะแวดล้อมเดียวกัน การปลูกสาหร่ายไส้ไก่ในระบบนิเวศมีกำลังผลิตขั้นต้น สูงกว่าบ่อที่มีแพลงก์ตอนพืชเพียงอย่างเดียว จึงทำให้มีการดูดซับสารอาหารไปใช้ได้มากกว่า ส่งผลต่อการเพิ่มออกซิเจนของน้ำในบ่อเลี้ยงซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงระบบนิเวศบ่อเลี้ยงกุ้งจากสภาวะไร้อากาศในช่วงเริ่มต้นการทดลองเป็นสภาวะมีอากาศอย่างชัดเจน ผลการวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่า สาหร่ายไส้ไก่ที่มีในบ่อเลี้ยงกุ้งสามารถส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรไม่มีชีวิตในระบบนิเวศ ทำให้มีสภาพแวดล้อมดีขึ้นเหมาะสมต่อการเติบโตของลูกกุ้งวัยอ่อนที่ปล่อยลงเลี้ยง

Effects of gutweed (*Ulva intestinalis* Linnaeus) on changing of abiotic factors in the ecosystem in brackish water microcosms

Abstract

The effects of gutweed (*Ulva intestinalis* Linnaeus) on changing of abiotic factors in the shrimp pond ecosystem was conducted in a brackish microcosm of which sludge from shrimp pond was added onto the bottom and brackish water of salinity 20 ppt was also added into the microcosm to the level of 10 cm. The sludge was raked once a week for two weeks in order to increase oxygen transfer and nutrient release from sludge. Gutweed was grown in the microcosms at two densities, 28 and 56 g/m^2 (T2 and T3, respectively), in comparison with the control microcosms (T1) without gutweed. Results from the study showed that the amount of nutrients released from sludge were sufficient to promote a growth of gutweed up to 40 times of the initial stocks within 3 weeks. Gutweed in T2 and T3 died after 3 weeks because of low DIN:DIP ratio about 0.52 ± 0.15 and 0.44 ± 0.10 respectively. This indicates that nitrogen is probably a limiting factor to promote growth of gutweed in the system using sludge from shrimp pond as a source of nutrients. Under the same condition, a primary productivity from gutweed was higher than that from phytoplankton resulting in higher uptake of nutrients as well as higher dissolved oxygen level observed in T2 and T3, which clearly indicates the improvement of ecosystem from anaerobic condition at the beginning to the aerobic condition at the end of the study. Results from this study indicate that using of gutweed in shrimp pond affects the changing of abiotic factors in shrimp pond ecosystem providing a better environment suitable for growth of the stocked shrimp larvae.

บทนำ

ตะกอนดินจากพื้นบ่อเลี้ยงกุ้งก็มีความสำคัญต่อการเลี้ยงกุ้ง เพราะกุ้งใช้พื้นบ่อในการหากินและดำรงชีพ อีกทั้งรองรับของเสียที่เกิดจากเศษอาหาร ซากแพลงก์ตอนพืช และสิ่งมีชีวิตที่ตายทับถมกันตลอดระยะเวลาเลี้ยง มีรายงานว่า อัตราการตกตะกอน ปริมาณแอมโมเนีย ฟอสฟอรัสรวม ไนโตรเจนรวม และไฮโดรเจนซัลไฟด์ ในตะกอนดิน เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาเลี้ยง และตะกอนดินสามารถปล่อยแอมโมเนีย ออกมาสู่มวลน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งได้ (ดุสิตและคณะ, 2536) Smith (1996) รายงานว่า ตะกอนดินในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำในประเทศออสเตรเลีย มีการสะสมของไนโตรเจนรวมเท่ากับ 2.25 มก./ล. และฟอสฟอรัสรวม เท่ากับ 690 มคก./ก. ซึ่งสูงกว่าปริมาณไนโตรเจนรวมและฟอสฟอรัสรวมในตะกอนดินในเขตป่าชายเลนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และจากการศึกษาเปรียบเทียบสารอาหารในดิน (soil nutrients) จากฟาร์มเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนา กึ่งพัฒนา และฟาร์มเลี้ยงกุ้งแบบอินทรีย์ พบว่าการเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนามีการสะสมของฟอสฟอรัสในดินสูงที่สุดซึ่งมีปริมาณเท่ากับ 282.7 มก./กก. (Schober *et al*., 2007) ดังนั้นในการเตรียมบ่อเพื่อเลี้ยงกุ้งจึงจำเป็นต้องมีการจัดการที่ดีเพื่อไม่ให้สารอาหารในดินที่มีอยู่ในปริมาณมากเหล่านั้นมีผลกระทบต่อคุณภาพน้ำและต่อตัวกุ้งที่เลี้ยงในรอบต่อไป Boyd *et al.* (2002) กล่าวว่าการจัดการพื้นบ่อด้วยการคราดดินจะทำให้ชั้นหน้าดินได้สัมผัสกับออกซิเจนเกิดการย่อยสลายของเสียที่สะสมอยู่ได้ดี และการคราดดินจะทำให้มีการปล่อยสารอาหารออกสู่มวลน้ำลดการสะสมของของเสียที่ผิวหน้าดินได้อีกด้วย

สาหร่ายไส้ไก่เป็นสาหร่ายสีเขียวขนาดใหญ่ในครอบครัว Ulvacea มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Ulva intestinalis* Linnaeus เคยถูกเรียกในอีกชื่อหนึ่งว่า *Enteromorpha intestinalis* (Linnaeus) Nees สาหร่ายชนิดนี้สามารถปรับตัวต่อความเค็มในช่วงกว้าง (Lewmanomont and Ogawa, 1995) และพบได้ทั่วไปในเขตชายฝั่งทะเลและมหาสมุทร (Messyasz and Rybak, 2008) รวมถึงในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ปัจจุบันสาหร่ายชนิดนี้ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญต่อการฟื้นฟูการเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ประสบปัญหากุ้งโตช้าและผลผลิตตกต่ำในหลายพื้นที่ของประเทศไทย (ประยูร และคณะ, 2549)

สำหรับแนวคิดในการใช้สาหร่ายร่วมกับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำนั้นได้มีการศึกษาโดยนักวิจัยหลายท่าน เช่น การศึกษาของ Neori และคณะ (1996) รายงานว่า สาหร่าย *Ulva lactuca* Linnaeus สามารถกำจัดแอมโมเนียที่มาจากการขับถ่ายของปลาและจากในน้ำได้ในปริมาณสูง และ Yarish และคณะ (2001) รายงานว่า สาหร่าย *Kappaphycus alvarezii* สามารถกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำชายฝั่งได้และแนะนำให้เลี้ยงสาหร่ายผสมผสานกับการเลี้ยงสัตว์น้ำชนิด

อื่น ๆ ซึ่งสาหร่ายเป็นเสมือนตัวกรองของเสียจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (Troell *et al*., 1999) ช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอันเกิดจากการเพาะเลี้ยงกุ้งได้ (Lombardi *et al*., 2006)

ทั้งนี้การใช้สาหร่ายไส้ไก่ในการเลี้ยงกุ้งเพื่อช่วยในการดูดซับธาตุอาหารที่ตกค้างอยู่ในบ่อเลี้ยง ซึ่งสาหร่ายไส้ไก่สามารถดูดซับแอมโมเนียมไปใช้ได้ดี (Cohen and Fong, 2004) และจากการศึกษาของประหยัด (2547) พบว่าสาหร่ายไส้ไก่มีอัตราการดูดซับธาตุอาหารไนเตรทได้ดีกว่าสาหร่ายอื่น ๆ อีกหลายชนิด ดังนั้นการศึกษาถึงผลของสาหร่ายไส้ไก่ในบ่อเลี้ยงกุ้งต่อการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรไม่มีชีวิตจะทำให้สามารถนำความรู้มาประยุกต์ใช้ในการเตรียมบ่อเลี้ยงกุ้งและพัฒนาเทคนิคของการใช้สาหร่ายในการฟื้นฟูการเลี้ยงกุ้งกุลาดำต่อไป

วัตถุประสงค์

เพื่อที่จะเปรียบเทียบผลของปริมาณสาหร่ายที่แตกต่างกัน 3 ระดับ ต่อการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยไม่มีชีวิตในดินตะกอนและน้ำในระบบนิเวศบ่อเลี้ยงกุ้งที่ยังไม่ได้ปล่อยกุ้งลงเลี้ยง รวมทั้งวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยดังกล่าวและสร้างความเข้าใจถึงบทบาทของสาหร่ายไส้ไก่ต่อการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพดินและน้ำ

อุปกรณ์และวิธีการ

1. สถานที่และการเตรียมบ่อน้ำกร่อยจำลองขนาดเล็ก

ทำการศึกษาที่สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง โดยเตรียมบ่อน้ำกร่อยจำลองขนาดเล็ก ด้วยภาชนะไฟเบอร์กลาสทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 95 ซม. สูง 50 ซม. ปริมาตร 350 ล. จำนวน 9 บ่อ จำลองให้มีระบบนิเวศคล้ายคลึงกับบ่อดินเลี้ยงกุ้งกุลาดำในช่วงที่เตรียมอาหารธรรมชาติ โดยวางบ่อทดลองบริเวณกลางแจ้ง เรียงเป็นแถวเดียวกันในแนวทิศเหนือ-ใต้เพื่อให้ทุกบ่อได้รับแสงเต็มที่ทั้งในช่วงเช้าและช่วงบ่าย นำดินเลนจากบริเวณกลางบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำของดำรงฟาร์มในอำเภอเทพา จังหวัดสงขลา ที่จับกุ้งไปแล้วเป็นเวลา 5 วัน ทำให้เป็นเนื้อเดียวกันแล้วตวงใส่บ่อทดลองจนเต็มพื้นที่ก้นบ่อ โดยตวงดินเลนบ่อละ 0.02 ลบ.ม. ความสูงของดิน 10 ซม. แล้วเติมน้ำทะเลความเค็ม 20 ส่วนในพันส่วน ครั้งแรกบ่อละ 35 ลิตร (ระดับน้ำสูงขึ้นมาจากผิวดิน 5 ซม.)

2. การวางแผนและดำเนินการทดลอง

การทดลองครั้งนี้วางแผนการทดลองแบบที่มีการวัดซ้ำ (Repeated measurement experiment) (Field, 2008) ใช้ระยะเวลารวม 6 สัปดาห์ โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ช่วง ดังนี้

ช่วงที่ 1 ช่วงเตรียมดินก่อนปลูกสาหร่ายไส้ไก่ โดยคราดดินในบ่อทดลองที่มีระดับน้ำ 5 ซม. ทุกบ่อ ด้วยส้อมพรวนดินเพื่อเพิ่มออกซิเจนหน้าดิน (Boyd *et al*., 2002) และให้สารอาหารในดินเลนละลายออกมาในน้ำ แล้วปล่อยทิ้งไว้เป็นเวลา 1 สัปดาห์ หลังจากนั้นจึงทำการคราดดินซ้ำอีกครั้งด้วยวิธีการเดิมและปล่อยไว้ต่อไปจนครบ 2 สัปดาห์ โดยในระหว่างการทดลองก่อนคราดดินเก็บตัวอย่างเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของระบบนิเวศของบ่อทดลองทุกบ่อ สัปดาห์ละ 1 ครั้ง

ช่วงที่ 2 ช่วงปลูกสาหร่ายไส้ไก่ หลังจากเตรียมดินจนครบ 2 สัปดาห์แล้วจึงเติมน้ำเพิ่มจนได้ระดับ 10 ซม.และเริ่มปลูกสาหร่ายโดยแบ่งเป็น 3 ชุดการทดลอง ๆ ละ 3 ซ้ำ โดยมีการปลูกสาหร่ายไส้ไก่ 3 ระดับ ดังนี้ ชุดการทดลองที่ 1 ไม่ปลูกสาหร่าย (ชุดควบคุม) ชุดการทดลองที่ 2 ปลูกสาหร่ายปริมาณ 28 ก./ตร.ม. ซึ่งจากการทดลองเบื้องต้นเป็นเวลา 2 สัปดาห์ จะได้สาหร่ายไส้ไก่ประมาณ 30-40 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่บ่อซึ่งเท่ากับปริมาณที่เหมาะสมที่เกษตรกรเริ่มปล่อยกุ้งลงเลี้ยง และชุดการทดลองที่ 3 ปลูกสาหร่ายปริมาณ 56 ก./ตร.ม. (ปริมาณสาหร่ายไส้ไก่ 2 เท่า ของปริมาณที่เหมาะสม) ทดลองเป็นเวลา 4 สัปดาห์ ในระหว่างการทดลองควบคุมระดับน้ำในแต่ละสัปดาห์ให้มีความลึกเท่ากับ 8, 10, 13, 22, 20 ซม. โดยค่อยๆ เพิ่มปริมาตรน้ำทั้งหมดในแต่ละชุดการทดลองเท่ากับ 56.7, 70.9, 92.2, 156.0 และ 141.8 ลิตร ในสัปดาห์ที่ 3-6 ตามลำดับ

3. การเก็บตัวอย่างและศึกษาการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรที่ไม่มีชีวิตในระบบนิเวศ

คุณภาพน้ำ

วัดคุณภาพน้ำทั่วไปที่ระดับผิวน้ำทุกวัน ได้แก่ วัดความเค็มของน้ำ ด้วยเครื่องวัดความเค็ม (Salino- refractometer ยี่ห้อ ATAGO) วัดอุณหภูมิน้ำและปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำด้วยเครื่อง DO meter ยี่ห้อ YSI รุ่น 57 และ วัดความเป็นกรด-ด่างของน้ำด้วยเครื่อง pH meter ยี่ห้อ WTW รุ่น Multiline P4 วิเคราะห์ความเป็นด่าง (Alkalinity) ด้วยวิธี Potentiometric titration (APHA, 1985)

เก็บตัวอย่างน้ำที่ระดับผิวน้ำสัปดาห์ละ 2 ครั้ง ในวันที่ 3 และ 7 ของสัปดาห์ โดยเก็บจำนวน 3 จุด นำมาผสมกันแล้วเก็บเป็น 1 ตัวอย่างในทุกบ่อ นำตัวอย่างน้ำไปกรองผ่านกระดาษกรอง GF/C แล้วเก็บรักษาตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิ -20°C เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณภาพน้ำในห้องปฏิบัติการภายใน 1 สัปดาห์ ดังนี้ วิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียรวม ด้วยวิธี Modified indo-

phenol blue (Sasaki and Sawada, 1980) ไนไตรท์ ด้วยวิธี Diazotization (Bendschneider and Robinson, 1952) ไนเตรทด้วยวิธี Cadmium reduction method เพื่อรีดิวซ์ไนเตรทให้เป็นไนไตรท์ (APHA, 1985) แล้ววัดไนไตรท์ที่เกิดขึ้นด้วยวิธี Diazotization ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

วิเคราะห์ไนโตรเจนละลายน้ำรวม (Total dissolved nitrogen) ด้วยวิธีเปอร์ซัลเฟตออกซิเดชั่น (Hansen and Koroleff, 1999) แล้วนำไนโตรเจนที่ย่อยแล้วมาวิเคราะห์ในรูปไนเตรทตามวิธีที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น วิเคราะห์ไนโตรเจนอินทรีย์ในตะกอนแขวนลอยจากตัวอย่างที่กรองด้วยกระดาษกรอง Whatman GF/F (เส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มม. ที่เผา Pre-combustion ที่ 450°C เป็นเวลา 4 ชม.) แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิสูง 950°C โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ธาตุ CHN analyzer ยี่ห้อ LEGO รุ่น CHN-900 แล้วคำนวณไนโตรเจนทั้งหมด =ไนโตรเจนอินทรีย์ในตะกอนแขวนลอย + ไนโตรเจนละลายน้ำรวม

วิเคราะห์ฟอสฟอรัสอนินทรีย์ละลายน้ำด้วยวิธี Phospho-molybdate (Strickland and Parsons, 1972) วิเคราะห์ฟอสฟอรัสละลายน้ำรวมโดยการย่อยน้ำตัวอย่างที่ผ่านการกรองแล้วด้วยวิธีเปอร์ซัลเฟตออกซิเดชั่น (Hansen and Koroleff, 1999) แล้วนำตัวอย่างที่ย่อยแล้วไปวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสอนินทรีย์ละลายน้ำด้วยวิธีที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น คำนวณฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำ = ฟอสฟอรัสละลายน้ำรวม – ฟอสฟอรัสอนินทรีย์ละลายน้ำ และวิเคราะห์ฟอสฟอรัสรวมจากตัวอย่างน้ำที่ไม่ผ่านการกรองเอาตะกอนแขวนลอยออกด้วยวิธีการเดียวกันกับฟอสฟอรัสละลายน้ำรวมที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

วิเคราะห์ปริมาณตะกอนแขวนลอย (Suspended particulate matter) วิเคราะห์ด้วยวิธีการชั่งน้ำหนัก (Gravimetric method) โดยใช้กระดาษกรอง GF/C ที่ผ่านการอบที่ 110°C นาน 2 ชม. และทราบค่าน้ำหนักแน่นอน นำมากรองตัวอย่างน้ำแล้วชะเอาเกลือในน้ำตัวอย่างออกจากแผ่นกระดาษกรองด้วยน้ำกลั่นบริสุทธิ์ นำกระดาษกรองดังกล่าวไปอบในตู้อบที่ 110°C นาน 2 ชม. ชั่งน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเพื่อคำนวณหาปริมาณตะกอนต่อปริมาตรน้ำที่กรอง

คุณภาพดิน

เก็บตัวอย่างดินจากแต่ละบ่อทดลอง ตั้งแต่เมื่อเริ่มทดลองและเก็บต่อเนื่องสัปดาห์ละ 1 ครั้ง โดยนำตัวอย่างดินส่วนที่ 2 ไปวิเคราะห์คุณภาพดินในห้องปฏิบัติการ ดังนี้

วิเคราะห์สารประกอบไนโตรเจน (แอมโมเนียรวม ไนโตรท์ และไนเตรท) และฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำแทรกอยู่ในดินเลน โดยการสกัดออกจากตัวอย่างดินเลนเปียกที่ทราบน้ำหนักแน่นอน ด้วยสารละลาย 2N KCl ปริมาตร 50 มล. กรองเอาตะกอนเลนออก ปรับปริมาตรน้ำตัวอย่างที่สกัดได้ให้เป็น 200 มล. ด้วยน้ำกลั่น กรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No. 1 แล้วนำน้ำตัวอย่าง

ที่กรองได้ไปวิเคราะห์สารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสด้วยวิธีการที่ใช้กับน้ำทะเลที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น จากนั้นนำมาคำนวณกลับเป็นปริมาณในดินเลนโดยเทียบจากน้ำหนักดินเลนที่สกัดและปริมาตรสุดท้ายของน้ำตัวอย่างสกัดดินที่ได้ โดยใช้หน่วยเป็น มก.ไนโตรเจน/กก.ดินแห้ง และ มก.ฟอสฟอรัส/กก.ดินแห้ง

วิเคราะห์ไนโตรเจนรวมในตะกอนเลน (Total nitrogen: TN) ด้วยเครื่องวิเคราะห์ธาตุไนโตรเจนโดยนำตัวอย่างตะกอนเลนไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 70°C เอาเศษเปลือกหอยออก นำตัวอย่างไปบดเป็นเนื้อเดียวกัน ชั่งตัวอย่างประมาณ 8-10 มก. นำไปเผาที่อุณหภูมิ 950°C และวัดปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนที่ถูกเผาจนเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของ N_2 ด้วยเครื่องวิเคราะห์ธาตุ CHN analyzer ยี่ห้อ LEGO รุ่น CHN-900

วิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสรวม (Total phosphorus : TP) โดยนำดินเลนที่ผ่านการเผาไล่สารอินทรีย์ ที่อุณหภูมิ 550°C เป็นเวลา 4 ชม. เพื่อเปลี่ยนสารประกอบฟอสฟอรัสต่างๆให้อยู่ในรูปเกลือฟอสเฟต และนำดินเลนที่เผาแล้วมาละลายด้วยน้ำกลั่นและปรับพีเอชให้ได้ประมาณ 3 นำสารละลายดังกล่าวมาวิเคราะห์ฟอสฟอรัสอนินทรีย์ ด้วยวิธีการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น คำนวณกลับเป็นปริมาณในดินเลนโดยเทียบจากน้ำหนักดินเลนเผาและดินเผาแล้วที่นำมาละลายเพื่อการวิเคราะห์โดยใช้หน่วยเป็น มก.ฟอสฟอรัส/กก.ดินแห้ง

4. การวิเคราะห์ทางสถิติ

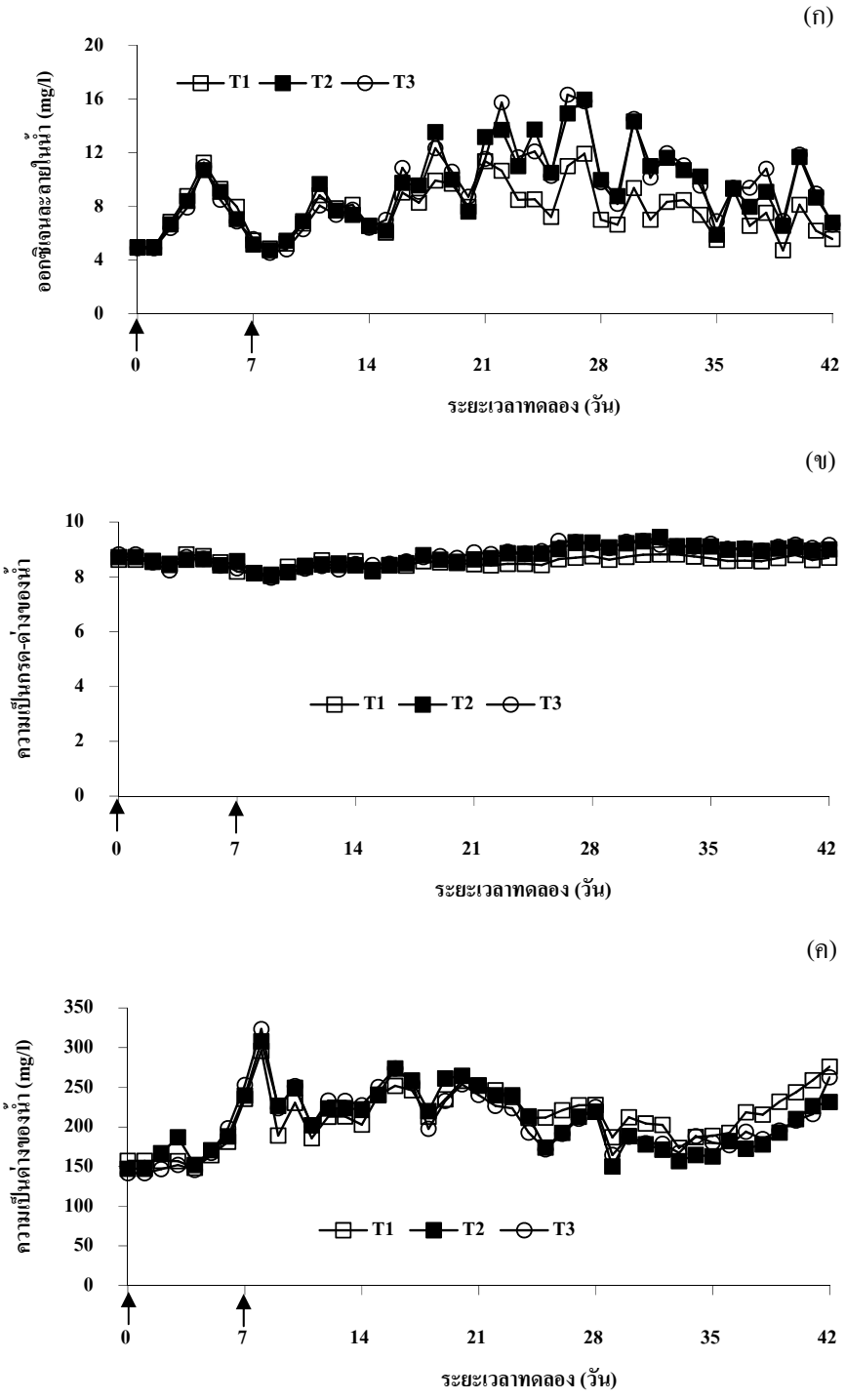
วิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรในระบบนิเวศ ได้แก่ คุณภาพน้ำ คุณภาพดิน ที่เปลี่ยนแปลงทุกสัปดาห์ เนื่องจากอิทธิพลของปัจจัยปริมาณสาหร่ายไส้ไก่ รวมถึงอิทธิพลของเวลาที่เกิดขึ้นในระหว่างการทดลองโดยใช้ General Linear Model แบบ Repeated Measures ด้วยโปรแกรม SPSS Version 16.0

วิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ (Multiple Linear Regression analysis) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสาหร่ายไส้ไก่กับตัวแปรคุณภาพน้ำและดิน โดยใช้วิธี Stepwise ของโปรแกรม SPSS และใช้ค่า Variance of Inflation (VIF) ที่มีค่าน้อยกว่า 4 ในการยอมรับตัวแปรในสมการเพื่อป้องกันปัญหาการเกิดความสัมพันธ์ร่วมระหว่างตัวแปร (Multicolinearity) (Kutner *et al*., 2004)

ผลการทดลอง

คุณภาพน้ำ

ผลที่เกิดขึ้นจากการเตรียมบ่อเลี้ยงต่อคุณภาพน้ำโดยวิธีการคราดดินเลนเพื่อกระตุ้นการปล่อยสารอาหาร พบว่า การคราดดินเลนมีผลให้ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำลดลงโดยลดลงต่ำสุด (มีค่าเท่ากับ 4.87±0.15, 4.73±0.35 และ 4.53±0.15 มก./ล. ในชุด T1, T2 และ T3 ตามลำดับ) หลังจากการคราดดินครั้งที่ 2 เป็นเวลา 1 วัน (วันที่ 8 ของการทดลอง) โดยค่าออกซิเจนละลายน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงสลับกันไป และหลังจากปลูกสาหร่ายไส้ไก่ (วันที่ 15 ของการทดลอง) ค่าออกซิเจนละลายน้ำในชุดการทดลองที่ปลูกสาหร่ายไส้ไก่มีค่าสูงกว่าในชุดควบคุมไปจนตลอดการทดลอง โดยมีค่าสูงสุด เท่ากับ 11.93±0.90, 15.97±4.17 และ 16.33±1.79 มก./ล. ในชุด T1, T2 และ T3 ตามลำดับ ขณะที่ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำมีค่าลดลงต่ำสุด (มีค่าเท่ากับ 8.03±0.19, 8.07±0.07 และ 7.97±0.13 มก./ล. ในชุด T1, T2 และ T3 ตามลำดับ) หลังจากการคราดดินครั้งที่ 2 เป็นเวลา 2 วัน (วันที่ 9 ของการทดลอง) หลังจากนั้นมีค่าสูงขึ้นในทุกชุดการทดลองโดยในชุดการทดลองที่มีการปลูกสาหร่ายไส้ไก่มีค่าสูงกว่าในชุดควบคุมตั้งแต่วันที่ 21 จนสิ้นสุดการทดลอง และค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำสูงสุด เท่ากับ 8.82±0.05, 9.45±0.40 และ 9.32±0.23 มก./ล. ในชุด T1, T2 และ T3 ตามลำดับ สำหรับค่าความเป็นด่างของน้ำ พบว่า เพิ่มสูงขึ้นจาก 149 ± 0 เป็น 309 ± 25 มก. แคลเซียมคาร์บอเนต/ ล. โดยที่มีค่าสูงสุดเท่ากับ 296±28, 308±23 และ 323±24 มก.แคลเซียมคาร์บอเนต/ ล. ในชุด T1, T2 และ T3 ตามลำดับ หลังจากคราดเลนครั้งที่ 2 เป็นเวลา 1 วัน (วันที่ 8 ของการทดลอง) และมีค่าต่ำสุด เท่ากับ 148±6, 147±10 และ 142±6 มก.แคลเซียมคาร์บอเนต/ ล. ในชุด T1, T2 และ T3 ตามลำดับ (รูปที่ 3-1)



รูปที่ 3-1 การเปลี่ยนแปลงของออกซิเจนละลายในน้ำ (ก) ความเป็นกรด-ด่างของน้ำ (ข) และความเป็นด่างของน้ำ (ค) ในระหว่างการเตรียมดิน (14 วันแรก) และการปลูกสาหร่ายในปริมาณต่างๆ กัน (T1 = ไม่ปลูกสาหร่าย, T2 = ปลูกสาหร่ายปริมาณ 28 ก./ตร.ม. และ T3 = ปลูกสาหร่ายปริมาณ 56 ก./ตร.ม.) ลูกศร ↑ แสดงวันที่คราดดิน

สำหรับการเปลี่ยนแปลงของความเค็มและอุณหภูมิของน้ำ พบว่ามีค่าใกล้เคียงกันในทุกชุดการทดลอง โดยความเค็มของน้ำมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 18.7±1.2, 18.3±0.6 และ 18.7±1.2 ส่วนในพัน และสูงสุด เท่ากับ 30.3±2.5, 29.7±1.2 และ 29.7±1.5 ส่วนในพัน ในชุด T1, T2 และ T3 ตามลำดับ และอุณหภูมิของน้ำมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 25.5±1.3, 26.2±0.2 และ 26.3±0.1 องศาเซลเซียส และสูงสุด เท่ากับ 31.8±0.2, 31.2±0.2 และ 31.2±0.2 องศาเซลเซียส ในชุด T1, T2 และ T3 ตามลำดับ

การเปลี่ยนแปลงสารประกอบไนโตรเจนในช่วงของการเตรียมดินพบว่าปริมาณแอมโมเนียค่อยๆเพิ่มสูงขึ้นอันเป็นผลมาจากการคราดดินทำให้มีการปล่อยสารอาหารในรูปของสารประกอบไตรเจนออกมาจากดินสู่น้ำโดยมีปริมาณสูงสุดในวันที่ 10 ของการเตรียมดินซึ่งมีการคราดดินไปแล้ว 2 ครั้ง และหลังจากมีการปลูกสาหร่ายไส้ไก่ตามแผนการทดลอง พบว่า ตั้งแต่วันที่ 17 ปริมาณแอมโมเนียในชุดการทดลองที่มีการปลูกสาหร่ายไส้ไก่ลดลงมากกว่าในชุดควบคุม โดยปริมาณแอมโมเนียต่ำสุด เท่ากับ 0.135±0.038, 0.065±0.034 และ 0.049±0.009 มก./ล. และสูงสุดเท่ากับ 1.514±0.307, 1.688±0.009 และ 1.644±0.098 มก./ล. ในชุดการทดลอง T1, T2 และ T3 ตามลำดับ และการเปลี่ยนแปลงของไนไตรท์มีแนวโน้มเช่นเดียวกับแอมโมเนีย โดยในช่วงแรกมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นและสูงสุดในวันที่ 10 ของการเตรียมดินซึ่งมีการคราดดินไปแล้ว 2 ครั้ง หลังจากนั้นจึงมีปริมาณลดลง โดยมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.004±0.003, 0.001±0.001 และ 0.001±0.001 มก./ล. และค่าสูงสุดเท่ากับ เท่ากับ 0.272±0.086, 0.295±0.125 และ 0.289±0.098 มก./ล. ในชุดการทดลอง T1, T2 และ T3 ตามลำดับ

สำหรับการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนละลายน้ำรวม ไนโตรเจนในอนุภาคแขวนลอย และไนโตรเจนรวม ก็มีแนวโน้มคล้ายคลึงกัน โดยมีการเพิ่มขึ้นในช่วงแรก และมีค่าสูงสุดหลังการคราดดินไปแล้ว 2 ครั้ง หลังจากนั้นจึงมีปริมาณลดลง สำหรับปริมาณไนโตรเจนละลายน้ำรวมมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 1.758±0.155, 1.743±0.202 และ 1.851±0.113 มก./ล. และค่าสูงสุดเท่ากับ เท่ากับ 3.863±0.115, 3.861±0.094 และ 3.891±0.094 มก./ล. ในชุดการทดลอง T1, T2 และ T3 ตามลำดับ ไนโตรเจนในอนุภาคแขวนลอยมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.148±0.009, 0.075±0.008 และ 0.070±0.019 มก./ล. และค่าสูงสุดเท่ากับ 0.856±0.121, 0.626±0.238 และ 0.723±0.220 มก./ล. ในชุดการทดลอง T1, T2 และ T3 ตามลำดับ และไนโตรเจนรวมมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 2.223±0.103, 1.758±0.237 และ 1.974±0.202 มก./ล. และค่าสูงสุดเท่ากับ 4.444±0.065, 4.327±0.276 และ 4.496±0.197 มก./ล. ในชุดการทดลอง T1, T2 และ T3 ตามลำดับ

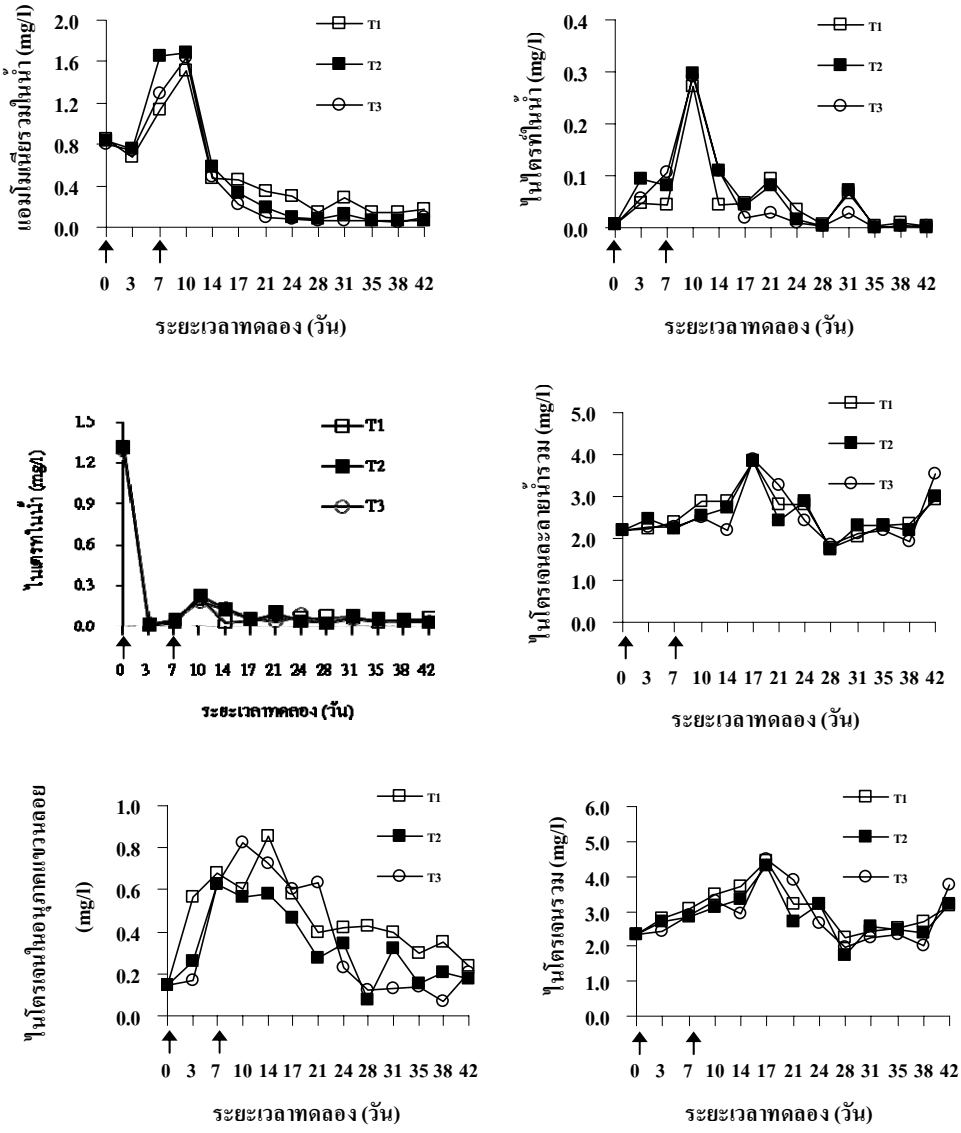
นอกจากนี้พบว่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณไนเตรทมีแน้วโน้มแตกต่างกับการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบไนโตรเจนในรูปอื่น ๆ กล่าวคือ ปริมาณไนเตรทมีค่าสูงสุดที่เวลา

เริ่มต้นซึ่งมีปริมาณ เท่ากับ 1.310±0.018, 1.314±0.018 และ 1.294±0.018 มก./ล. ในชุดการทดลอง T1, T2 และ T3 ตามลำดับ และลดลงอย่างรวดเร็วจนมีปริมาณต่ำสุดในวันที่ 3 ของการคราดดินครั้งแรก ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.019±0.010, 0.007±0.003 และ 0.015±0.002 มก./ล. ในชุดการทดลอง T1, T2 และ T3 ตามลำดับ (รูปที่ 3-2)

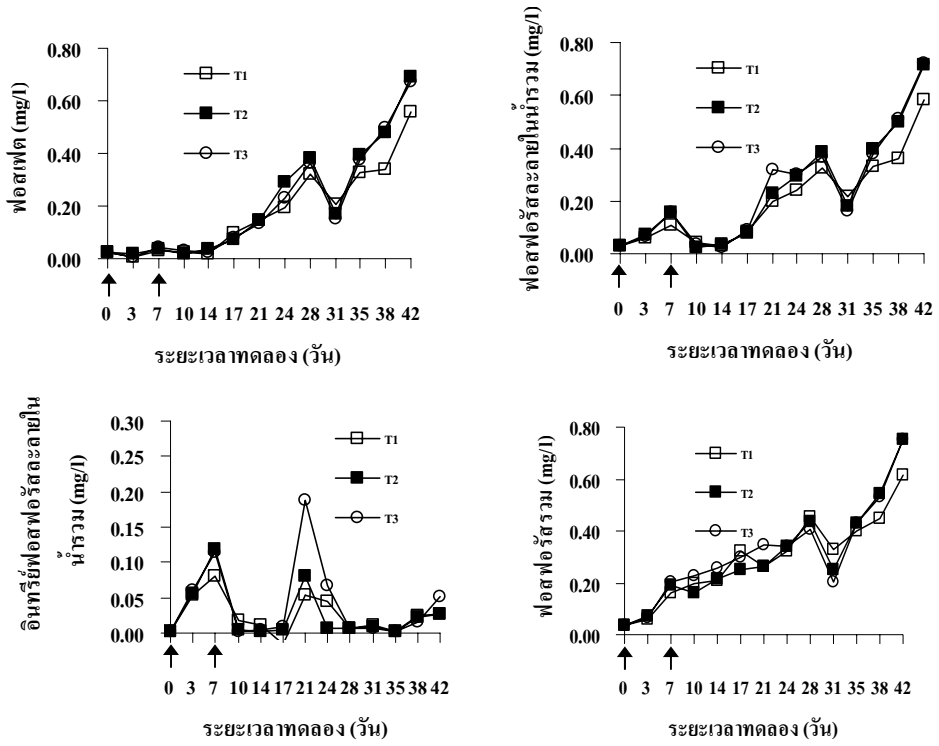
สำหรับการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟอสฟอรัสทั้งในรูปฟอสเฟตฟอสฟอรัสละลายน้ำรวม และฟอสฟอรัสรวมมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตั้งแต่เตรียมดินไปแล้ว 7 วัน และมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามระยะเวลา และหลังจากปลูกสาหร่ายแล้ว ปริมาณฟอสฟอรัส ในชุดการทดลองที่มีสาหร่ายมีแนวโน้มสูงกว่าในชุดควบคุม โดยฟอสเฟตมีค่าต่ำสุดในวันที่ 3 ของการทดลอง ซึ่งเท่ากับ 0.008±0.003, 0.016±0.011 และ 0.007±0.001 มก./ล. ในชุดการทดลอง T1, T2 และ T3 ตามลำดับ และมีค่าสูงสุดเมื่อสิ้นสุดการทดลอง เท่ากับ 0.555±0.115, 0.691±0.060 และ 0.672±0.042 มก./ล. ในชุดการทดลอง T1, T2 และ T3 ตามลำดับ เช่นเดียวกับฟอสฟอรัสรวมซึ่งมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.033±0.001 มก./ล. ในทุกชุดการทดลอง และมีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.617±0.092, 0.751±0.094 และ 0.752±0.063 มก./ล. ในชุดการทดลอง T1, T2 และ T3 ตามลำดับ สำหรับฟอสฟอรัสละลายน้ำรวมมีค่าต่ำสุด เท่ากับ 0.028±0.003, 0.025±0.001 และ 0.026±0.021 มก./ล. ในชุดการทดลอง T1, T2 และ T3 ตามลำดับ และมีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.582±0.107, 0.718±0.066 และ 0.724±0.066 มก./ล. ในชุดการทดลอง T1, T2 และ T3 ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าสารประกอบฟอสฟอรัสในรูปอินทรีย์ฟอสฟอรัสละลายน้ำรวมมีค่าต่ำสุดเมื่อเริ่มทดลอง โดยมีค่าเท่ากับ 0.003±0.002 มก./ล. ในทุกชุดการทดลอง และมีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.082±0.080, 0.118±0.019 และ 0.188±0.169 มก./ล. ในชุดการทดลอง T1, T2 และ T3 ตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดการทดลองเช่นกัน (รูปที่ 3-3)

เมื่อพิจารณาสัดส่วนของไนโตรเจนฟอสฟอรัสพบว่าในช่วงเตรียมดินมีค่าอยู่ระหว่าง 78.02 – 283.73 โดยมีค่าเริ่มต้นเฉลี่ย 153.94 ± 9.37 และมีสัดส่วนเพิ่มสูงขึ้นหลังการคราดดินในวันที่ 3 ของการทดลอง ซึ่งทำให้สัดส่วนของอนินทรีย์ไนโตรเจนละลายน้ำต่ออนินทรีย์ฟอสฟอรัสละลายน้ำมีค่าสูงสุดในชุดการทดลอง T3 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 247.34±36.76 หลังจากนั้นสัดส่วนไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสลดลงในวันที่ 7 และเพิ่มขึ้นอีกครั้งจนมีค่าสูงสุดในชุดการทดลอง T1 และ T2 ในวันที่ 10 ของการทดลอง (หลังจากการคราดดินแล้ว 2 ครั้ง) โดยมีค่าเท่ากับ 283.73±210.53 และ 256.26±38.39 ในชุดการทดลอง T1และ T2 ตามลำดับ ในช่วงปลูกสาหร่ายพบว่าสัดส่วนไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสลดลงโดยในชุดการทดลองที่มีสาหร่ายไส้ไก่มีการลดลงมากกว่าในชุดที่ไม่มีสาหร่ายไส้ไก่ สัดส่วนไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสในช่วงปลูกสาหร่ายมีค่าระหว่าง 0.97-157.52, 0.32-55.56 และ 0.44-88.24 ในชุดการทดลอง T1, T2 และ T3 ตามลำดับ และ

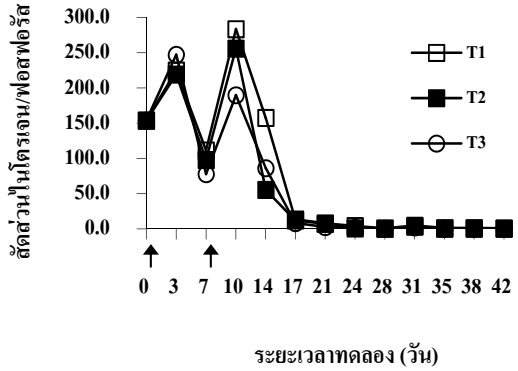
ในช่วงที่สาหร่ายเริ่มตายมีค่าสัดส่วนไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส เท่ากับ 0.52 ± 0.15 และ 0.44 ± 0.10 ในชุดการทดลอง T2 และ T3 ตามลำดับ ซึ่งสัดส่วนดังกล่าวเป็นค่าต่ำสุดของชุดการทดลอง T3 ขณะที่สัดส่วนในชุดการทดลอง T2 มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.32±0.07 ในสัปดาห์สุดท้ายของการทดลอง (รูปที่ 3-4)



รูปที่ 3-2 การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบไนโตรเจนในรูปต่าง ๆ ในระหว่างการเตรียมดิน (14 วันแรก) และช่วงปลูกสาหร่าย (T1 = ไม่ปลูกสาหร่าย, T2 = ปลูกสาหร่ายปริมาณ 28 ก./ตร.ม. และ T3 = ปลูกสาหร่ายปริมาณ 56 ก./ตร.ม.) ลูกศร ↑ แสดงวันที่คราดดิน



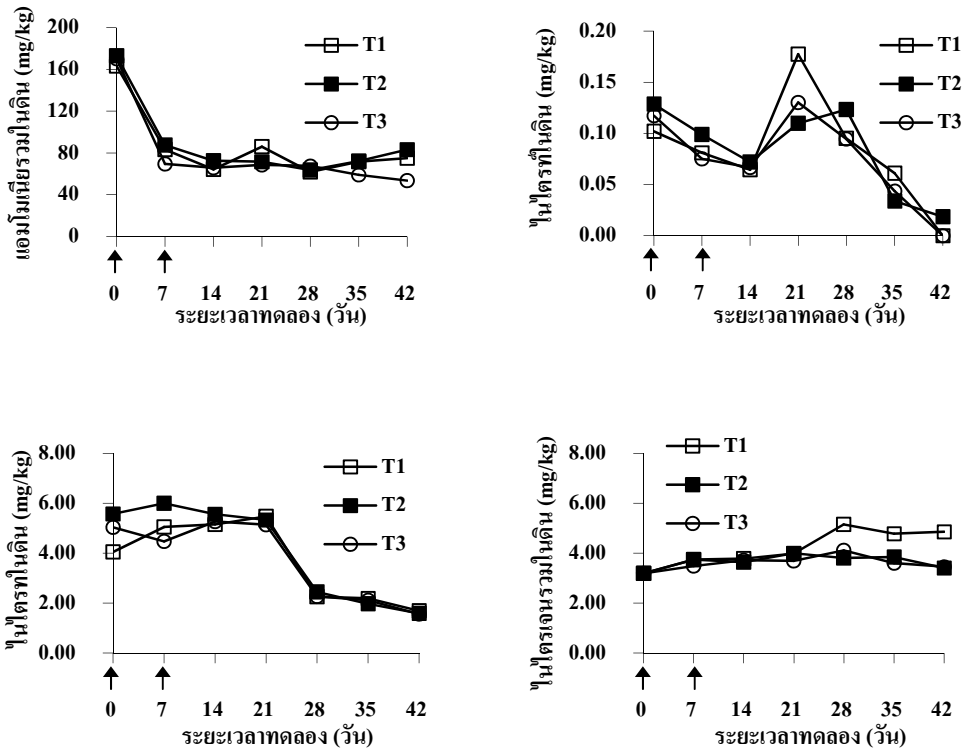
รูปที่ 3-3 การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบฟอสฟอรัสในรูปต่าง ๆในระหว่างการเตรียมดิน (14 วันแรก) และช่วงปลูกสาหร่าย (T1 = ไม่ปลูกสาหร่าย, T2 = ปลูกสาหร่ายปริมาณ 28 ก./ตร.ม. และ T3 = ปลูกสาหร่ายปริมาณ 56 ก./ตร.ม.) ลูกศร ↑ แสดงวันที่คราดดิน



รูปที่ 3-4 การเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนของไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสในน้ำในระหว่างการเตรียมดิน (14 วันแรก) และช่วงปลูกสาหร่าย (T1 = ไม่ปลูกสาหร่าย, T2 = ปลูกสาหร่ายปริมาณ 28 ก./ตร.ม. และ T3 = ปลูกสาหร่ายปริมาณ 56 ก./ตร.ม.) ลูกศร ↑ แสดงวันที่คราดดิน

คุณภาพดิน

สารประกอบไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียในดินมีปริมาณลดลงอย่างรวดเร็วใน 7 วันแรกของการเตรียมดินและลดลงเล็กน้อยในวันที่ 14 ส่วนในช่วงที่มีการปลูกสาหร่ายปริมาณแอมโมเนียในดินมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย โดยแอมโมเนียในดินมีค่าต่ำสุด เท่ากับ 61.81±11.63.57±9.58 และ 59.13±8.16 มก./ล. ในชุดการทดลอง T1, T2 และ T3 ตามลำดับ และมีค่าสูงสุดเท่ากับ 163.28±41.34, 172.90±28.00 และ 170.28±33.39 มก./ล. ในชุดการทดลอง T1, T2 และ T3 ตามลำดับ สำหรับปริมาณไนไตรท์ในดินพบว่าในช่วงเตรียมดินมีปริมาณลดลงอย่างรวดเร็ว แต่หลังจากวันที่ 14 ของการทดลองพบว่ามีปริมาณเพิ่มขึ้นโดยในชุดการทดลอง T1 (ชุดควบคุม) ซึ่งไม่มีการปลูกสาหร่ายมีปริมาณเพิ่มขึ้นสูงกว่าในชุดการทดลอง T2 และ T3 ซึ่งมีการปลูกสาหร่าย หลังจากนั้นปริมาณไนไตรท์ลดลงจนมีค่าใกล้เคียงศูนย์ในวันที่ 42 ของการทดลองในทุกชุดการทดลอง ไนไตรท์ในดินมีค่าต่ำสุด เท่ากับ 0, 0.02±0.03 และ 0 มก./ล. ในชุดการทดลอง T1, T2 และ T3 ตามลำดับ และมีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.18±0.12, 0.13±0.07 และ 0.13±0.02 มก./ล. ในชุดการทดลอง T1, T2 และ T3 ตามลำดับ ส่วนปริมาณไนเตรทพบว่ามีปริมาณคงที่จนถึงวันที่ 28 ของการทดลองจึงมีปริมาณลดลงอย่างรวดเร็วและมีปริมาณค่อนข้างคงที่อีกครั้งไปจนสิ้นสุดการทดลอง โดยไนเตรทในดินมีค่าต่ำสุด เท่ากับ 1.69±0.33, 1.59±0.30 และ 1.56±0.18 มก./ล. ในชุดการทดลอง T1, T2 และ T3 ตามลำดับ และมีค่าสูงสุดเท่ากับ 5.47±0.73, 6.00±0.02 และ 5.27±0.69 มก./ล. ในชุดการทดลอง T1, T2 และ T3 ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาถึงปริมาณไนโตเจนรวมในดินพบว่าชุดการทดลองที่มีการปลูกสาหร่ายไส้ไก่มีปริมาณไนโตรเจนรวมในดินต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างเห็นได้ชัดเจน โดยไนโตรเจนในดินมีค่าต่ำสุด เท่ากับ 3,190.00±255.15 มก./ล. ในทุกชุดการ และมีค่าสูงสุดเท่ากับ 5,153.33±240.28, 4,003.33±47.26 และ 4,113.33±488.40 มก./ล. ในชุดการทดลอง T1, T2 และ T3 ตามลำดับ (รูปที่ 3-5)

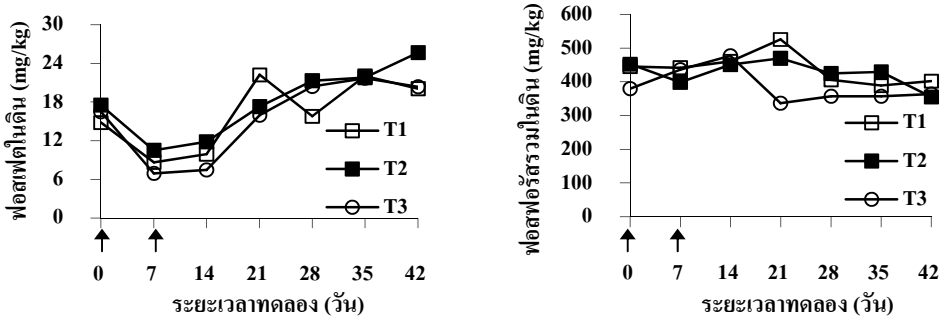


รูปที่ 3-5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารประกอบไนโตรเจนในดินระหว่างการเตรียมดิน(14 วันแรก) และช่วงปลูกสาหร่าย (T1 = ไม่ปลูกสาหร่าย, T2 = ปลูกสาหร่ายปริมาณ 28 ก./ตร.ม. และ T3 = ปลูกสาหร่ายปริมาณ 56 ก./ตร.ม.) ลูกศร ↑ แสดงวันที่คราดดิน

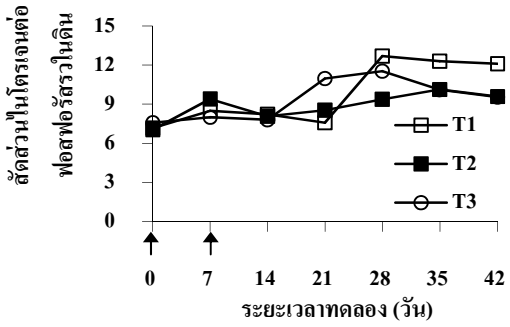
สำหรับปริมาณฟอสเฟตในดินพบว่ามีปริมาณลดลงในวันที่ 7 ของการทดลอง เช่นเดียวกับปริมาณแอมโมเนีย และหลังจากนั้นปริมาณฟอสเฟตในดินเพิ่มขึ้นจนมีปริมาณคงที่ในวันที่ 28 ถึง 42 ในชุดการทดลอง T3 สำหรับชุดการทดลอง T2 ปริมาณฟอสเฟตเพิ่มขึ้นอีกครั้งในวันที่ 42 ของการทดลอง และในชุดการทดลอง T1 ปริมาณฟอสเฟตในดินมีค่าค่อนข้างแกว่งโดยมีปริมาณเพิ่มขึ้นและลดลงถึง 3 ครั้ง ตลอดการทดลอง โดยฟอสเฟตในดินมีค่าต่ำสุด เท่ากับ 8.62±1.10, 10.49±1.77 และ 6.88±1.18 มก./ล. ในชุดการทดลอง T1, T2 และ T3 ตามลำดับ และมีค่าสูงสุดเท่ากับ 22.25±7.13, 25.68±2.36 และ 21.70±5.44 มก./ล. ในชุดการทดลอง T1, T2 และ T3 ตามลำดับ ส่วนค่าฟอสฟอรัสรวมในดิน พบว่า ในช่วงเตรียมดินปริมาณค่อนข้างคงที่ แต่เมื่อปลูกสาหร่ายไปแล้ว 1 สัปดาห์ปริมาณฟอสฟอรัสรวมในดินในชุดการทดลอง T3 ลดลงอย่างรวดเร็วจนมีค่าต่ำสุด หลังจากนั้นจึงมีปริมาณเพิ่มขึ้นเล็กน้อยและปริมาณค่อนข้างคงที่ไปจนตลอดการทดลอง สำหรับปริมาณฟอสฟอรัสรวมในดินในชุดการทดลอง T2 หลังปลูกสาหร่ายพบว่า มีปริมาณเพิ่มขึ้น

เล็กน้อยในวันที่ 21 ของการทดลอง และหลังจากนั้นจึงมีปริมาณลดลงเรื่อย ๆ จนมีค่าใกล้เคียงกับฟอสฟอรัสรวมในชุดการทดลอง T3 เมื่อสิ้นสุดการทดลอง หลังจากนั้นปริมาณ โดยในสัปดาห์สุดท้ายปริมาณฟอสฟอรัสรวมในดินในชุดการทดลอง T1 มีค่าสูงที่สุด ซึ่งปริมาณฟอสฟอรัสในดินในระหว่างการทดลองมีค่าต่ำสุด เท่ากับ 389.22±31.79, 355.58±79.92 และ 336.32±120.80 มก./ล. ในชุดการทดลอง T1, T2 และ T3 ตามลำดับ และมีค่าสูงสุดเท่ากับ 526.05±16.44, 469.09±42.76 และ 477.02±46.18 มก./ล. ในชุดการทดลอง T1, T2 และ T3 ตามลำดับ (รูปที่ 3-6)

เมื่อพิจารณาสัดส่วนไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสในดินพบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 5.45 – 27.56 โดยมีค่าเริ่มต้นเฉลี่ย 23.55 ± 2.16 สำหรับสัดส่วนไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสในชุดการทดลอง T1 และ T2 มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงกัน โดยสัดส่วนไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสมีค่าสูงสุดในตอนเริ่มทดลอง (เท่ากับ 24.74±2.58 และ 22.69±1.89 ในชุดการทดลอง T1 และ T2 ตามลำดับ) และสัดส่วนลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรกจนถึงวันที่ 21 ของการทดลอง หลังจากนั้นจึงเริ่มคงที่ สำหรับการเปลี่ยนแปลงในชุดการทดลอง T3 พบว่าสัดส่วนเพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงสุดในวันที่ 7 ของการทดลอง (27.56±14.47) หลังจากนั้นสัดส่วนไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสลดลงอย่างรวดเร็วเช่นกัน จนหลังจากปลูกสาหร่ายไปแล้ว 1 สัปดาห์ (วันที่ 21 ของการทดลอง) สัดส่วนจึงมีค่าลดลงอย่างช้า ๆ จนมีค่าต่ำสุด และเมื่อสิ้นสุดการทดลองสัดส่วนไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสในชุดการทดลอง T1 มีค่าสูงสุด รองลงมาคือสัดส่วนไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสในชุดการทดลอง T2 และ T3 ตามลำดับ สำหรับค่าต่ำสุดของสัดส่วนไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสมีค่าเท่ากับ 7.63±1.18, 6.98±0.68 และ 5.45±2.77 ในชุดการทดลอง T1, T2 และ T3 ตามลำดับ (รูปที่ 3-7)



รูปที่ 3-6 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารประกอบฟอสฟอรัสในดินระหว่างการเตรียมดิน (14 วันแรก) และช่วงปลูกสาหร่าย (T1 = ไม่ปลูกสาหร่าย, T2 = ปลูกสาหร่ายปริมาณ 28 ก./ตร.ม. และ T3 = ปลูกสาหร่ายปริมาณ 56 ก./ตร.ม.) ลูกศร ↑ แสดงวันที่คราดดิน



รูปที่ 3-7 การเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสในดินระหว่างการเตรียมดิน (14 วันแรก) และช่วงปลูกสาหร่าย (T1 = ไม่ปลูกสาหร่าย, T2 = ปลูกสาหร่ายปริมาณ 28 ก./ตร.ม. และ T3 = ปลูกสาหร่ายปริมาณ 56 ก./ตร.ม.) ลูกศร ↑ แสดงวันที่คราดดิน

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

จากผลการวิเคราะห์อิทธิพลจากตัวแปรสาหร่ายไส้ไก่และเวลา (ตารางที่ 3-1) ต่อความแตกต่างของคุณภาพน้ำ พบว่าตัวแปรสาหร่ายไส้ไก่ไม่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาณของสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัส แต่พบอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ต่อปริมาณออกซิเจนละลายน้ำและความเป็นกรด-ด่างของน้ำ ขณะที่ปัจจัยเวลามีอิทธิพลต่อปัจจัยคุณภาพน้ำที่ศึกษาส่วนใหญ่อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) ยกเว้นปริมาณฟอสเฟต ส่วนการวิเคราะห์อิทธิพลร่วมของตัวแปร พบว่า เฉพาะตัวแปรออกซิเจนละลายน้ำเท่านั้นที่ได้รับอิทธิพลร่วมระหว่างตัวแปรสาหร่ายไส้ไก่และเวลา (ตารางที่ 3-1)

สำหรับตัวแปรในดิน พบว่า ปริมาณไนโตรเจนรวมในดิน ได้รับอิทธิพลอย่างยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) จากสาหร่ายไส้ไก่ในระหว่างชุดการทดลอง โดยในชุดการทดลอง T1 มีปริมาณไนโตรเจนรวมในดินสูงกว่าชุดการทดลอง T2 และ T3 ส่วนปัจจัยคุณภาพดินทุกปัจจัยยกเว้นฟอสฟอรัสรวมได้รับอิทธิพลจากตัวแปรเวลา และไนโตรเจนรวมยังได้รับอิทธิพลร่วมจากตัวแปรสาหร่ายไส้ไก่และเวลา (ตารางที่ 3-2)

ผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสาหร่ายไส้ไก่ กับ ตัวแปรที่มีอิทธิพลประเภทคุณภาพน้ำและดิน (ตารางที่ 3-3) พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสรวมในดินมีอิทธิพลต่อปริมาณสาหร่ายไส้ไก่มากที่สุด โดยมีอิทธิพลในเชิงลบ กล่าวคือเมื่อปริมาณฟอสฟอรัสในดินมากมีอิทธิพลทำให้ปริมาณสาหร่ายไส้ไก่น้อย และเมื่อฟอสฟอรัสในดินน้อยมีอิทธิพลทำให้ปริมาณสาหร่ายไส้ไก่มาก

ตารางที่ 3-1 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของอิทธิพลของตัวแปรสาหร่ายไส้ไก่และเวลาต่อการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาณของคุณภาพน้ำในระบบนิเวศบ่อเลี้ยงกุ้งในระหว่างการเตรียมดินและการปลูกสาหร่าย (* มีนัยสำคัญทางสถิติ P<0.05, ** มีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ P<0.01

ปัจจัยที่ศึกษา	ผลของอิทธิพลจากตัวแปรต่อปัจจัยที่ศึกษา					
	สาหร่ายไส้ไก่		เวลา		อิทธิพลร่วมระหว่างสาหร่ายไส้ไก่*เวลา	
	ค่า F	นัยสำคัญ	ค่า F	นัยสำคัญ	ค่า F	นัยสำคัญ
แอมโมเนียรวม	0.62	0.57	45.17	<0.01**	1.07	0.41
ไนไตรท์	0.27	0.77	8.08	<0.01**	1.00	0.46
ไนเตรท	0.28	0.77	1060.00	<0.01**	1.22	0.31
ไนโตรเจนละลายน้ำทั้งหมด	0.46	0.65	8.68	<0.01**	0.92	0.54
ไนโตรเจนอินทรีย์ละลายน้ำ	0.62	0.57	35.35	<0.01**	1.62	0.13
ไนโตรเจนอินทรีย์ในอนุภาคแขวนลอย	0.79	0.50	9.38	<0.01**	1.17	0.34
ไนโตรเจนรวม	1.21	0.36	9.01	<0.01**	1.18	0.34
ฟอสเฟต	1.73	0.26	3.20	0.12	0.43	0.67
ฟอสฟอรัสละลายน้ำทั้งหมด	1.21	0.36	16.20	<0.01**	0.31	0.75
ฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำ	0.76	0.51	16.43	<0.01**	0.21	0.81
ฟอสฟอรัสรวม	0.58	0.59	59.05	<0.01**	0.32	0.74
ฟอสฟอรัสในอนุภาคแขวนลอย	3.29	0.11	8.53	0.03*	0.11	0.89
ความเค็ม	0.04	0.96	68.35	<0.01**	1.18	0.34
อุณหภูมิ	1.21	0.36	75.64	<0.01**	0.76	0.68
ออกซิเจนละลายน้ำ	11.07	0.01*	58.93	<0.01**	2.43	0.02*
ความเป็นกรด-ด่าง	16.14	0.03*	21.02	<0.01**	1.99	0.06
ความเป็นด่าง	0.74	0.52	36.88	<0.01**	1.28	0.27

ตารางที่ 3-2 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของอิทธิพลของตัวแปรสาหร่ายไส้ไก่และเวลาต่อการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาณของคุณภาพดินในระบบนิเวศบ่อเลี้ยงกุ้งในระหว่างการเตรียมดินและการปลูกสาหร่าย (* มีนัยสำคัญทางสถิติ P<0.05, ** มีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ P<0.01)

ปัจจัยที่ศึกษา	ผลของอิทธิพลจากตัวแปรต่อปัจจัยที่ศึกษา					
	สาหร่ายไส้ไก่		เวลา		อิทธิพลร่วมระหว่างสาหร่ายไส้ไก่*เวลา	
	ค่า F	นัยสำคัญ	ค่า F	นัยสำคัญ	ค่า F	นัยสำคัญ
แอมโมเนีย	1.32	0.34	34.53	<0.01**	0.46	0.92
ไนไตรท์	0.22	0.81	10.52	<0.01**	0.56	0.76
ไนเตรท	2.78	0.14	96.50	<0.01**	1.77	0.09
ฟอสเฟต	1.15	0.38	13.54	<0.01**	0.74	0.71
ฟอสฟอรัสรวม	1.07	0.40	1.56	0.19	0.87	0.59
ความเป็นกรด-ด่าง	0.52	0.62	33.52	<0.01**	0.73	0.72
ไนโตรเจนรวม	22.87	<0.01**	4.02	<0.01**	2.85	0.02*

ตารางที่ 3-3 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่สนใจ สาหร่ายไส้ไก่ กับ ตัวแปรที่มีอิทธิพลประเภท น้ำ และดิน

ตัวแปรตาม	ผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์							
	ตัวแปรอิสระที่มีอิทธิพล	ประเภทของตัวแปร	ค่าสัมประสิทธิ์	VIP	partial R^2	R^2	F	Sig. level
สาหร่ายไส้ไก่	ค่าคงที่		7677.33					
	ฟอสฟอรัสรวม	ดิน	-5.31	1.08	0.23	0.69	10.37	<0.01
	ตะกอนแขวนลอย	น้ำ	-51.92	1.05	0.16			
	ไนโตรเจนอินทรีย์ในอนุภาค	น้ำ	-1714.132	1.10	0.20			
	แอมโมเนีย	ดิน	-17.75	1.04	0.10			

วิจารณ์ผลการทดลอง

เมื่อเตรียมดินเลนเป็นเวลา 2 สัปดาห์แล้วปลูกสาหร่ายลงไป 2 ระดับ โดยที่ระดับสาหร่ายที่มีมากมีการเติบโตได้มากกว่า แสดงให้เห็นว่าสารอาหารที่ถูกปล่อยออกมาจากดินมีปริมาณเพียงพอในการกระตุ้นให้สาหร่ายเติบโตเพิ่มปริมาณได้มากถึง 40 เท่า ภายในเวลา 3 สัปดาห์ ชี้ให้เห็นว่าเลนจากการเลี้ยงกุ้งรอบที่แล้ว มีปริมาณสารอาหารเพียงพอที่จะนำมาใช้ในการเติบโตของสาหร่ายไส้ไก่ และการใช้กระบวนการคราดดินในการเตรียมบ่อ ช่วยทำให้มีการปล่อยสารอาหารออกมาได้ดี อีกทั้งการเติมน้ำในระดับที่ต่ำทำให้มีความเข้มข้นของสารอาหารสูงซึ่งเมื่อปลูกสาหร่ายไส้ไก่ลงไป สาหร่ายไส้ไก่เป็นกำลังผลิตขั้นต้นที่มีประสิทธิภาพในการหมุนเวียนสารอาหารดังกล่าวกลับมาเป็นสารอินทรีย์ และยังสามารถเจริญเติบโตในสภาวะน้ำที่มีสารอาหารสูง (eutrophic waters) (Messyasz and Rybak, 2008) ทำให้สามารถเติบโตเพิ่มปริมาณได้ ซึ่งในระหว่างการเติบโตของสาหร่ายพบว่าปริมาณแอมโมเนียและไนเตรทมีการลดลง จนถึงระดับต่ำสุดจึงเริ่มมีการตาย ในขณะที่ฟอสเฟตในน้ำยังคงมีปริมาณเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าเกิดความไม่สมดุลของสารอาหารในน้ำ โดยมีสัดส่วนไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสในช่วงที่สาหร่ายตายมีค่าเท่ากับ 0.52 ± 0.15 และ 0.44 ± 0.10 ในชุดการทดลอง T2 และ T3 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Kamer และคณะ (2004) ที่พบว่าการเลี้ยงสาหร่ายไส้ไก่จำเป็นต้องเติมไนโตรเจนและฟอสฟอรัสลงไปในน้ำอย่างสมดุล โดยคำนึงถึงสัดส่วนของไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส และพบว่าไนโตรเจนเป็นปัจจัยจำกัดเมื่อสัดส่วนของไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส ประมาณ 7.57 – 11.92 นอกจากนี้ Fong และคณะ (2004) รายงานว่า อัตราส่วนความเข้มข้นของไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสเท่ากับ 600 : 60 ซึ่งมีสัดส่วนไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสเท่ากับ 10 ทำให้สาหร่ายไส้ไก่มีการเจริญเติบโตดีที่สุด ชี้ให้เห็นว่าในการใช้ดินเลนจากบ่อเลี้ยงกุ้งเพื่อปลูกสาหร่าย ไนโตรเจนเป็นปัจจัยจำกัด (limiting factor) ในการเติบโตของสาหร่ายไส้ไก่

การเพิ่มขึ้นของปริมาณสาหร่ายไส้ไก่เปลี่ยนแปลงขึ้นกับตัวแปรคุณภาพน้ำและดินในระบบนิเวศ จากการศึกษาครั้งนี้ตัวแปรคุณภาพดิน 2 ตัวที่ถูกคัดเลือกเข้ามาเป็นตัวแปรที่มีความสัมพันธ์ (partial R^2 เท่ากับ 0.23 และ 0.1 ตามลำดับ) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ < 0 ชี้ให้เห็นว่าปริมาณฟอสฟอรัสรวมและแอมโมเนียรวมในดินที่มีมากจะทำให้ปริมาณสาหร่ายไส้ไก่น้อยลง ซึ่งหากฟอสฟอรัส และแอมโมเนียไม่สามารถถูกปล่อยออกมาจากดินสาหร่ายไส้ไก่จะไม่สามารถเติบโตได้ จากการศึกษาของ Fong และคณะ (2004) รายงานว่าในแหล่งน้ำธรรมชาติการเพิ่มขึ้นของสาหร่ายไส้ไก่เกิดขึ้นเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำ ในระบบการ

เตรียมบ่อเพื่อปลูกสาหร่ายโดยใช้ดินเลนที่เป็นแหล่งสะสมของสารอาหารที่เหลือจากการเลี้ยงกุ้ง (ดุสิต และคณะ, 2536; Teichert-Coddington *et al*., 2000)

สำหรับผลต่อคุณภาพดิน พบว่าสาหร่ายไส้ไก่อิทธิพลต่อปริมาณไนโตรเจนรวมในดิน ซึ่งในบ่อจำลองเลี้ยงกุ้งขนาดเล็กที่มีสาหร่ายจะมีปริมาณของไนโตรเจนรวมในดินต่ำกว่าบ่อที่ไม่มีสาหร่ายไส้ไก่แสดงให้เห็นว่าสาหร่ายมีการดูดซับสารอาหารพวกไนโตรเจนที่ปลดปล่อยจากดินไปใช้ได้มากกว่าแพลงก์ตอนพืช เนื่องจากสาหร่ายสีเขียวขนาดใหญ่มีความสามารถในการดูดซับสารอาหารไปใช้ได้มากกว่า (Fugita, 1985; Duke *et al*., 1989; Duarte, 1995)

โดยทั่วไปบ่อที่ผ่านการเลี้ยงกุ้งมาแล้ว บริเวณพื้นบ่อจะมีการสะสมของตะกอนดิน (เลน)ซึ่งเป็นของเสียจากการขับถ่ายของกุ้ง เศษอาหารที่เหลือตกค้างและซากสิ่งมีชีวิตที่เกิดและตายอยู่ภายในบ่อเลี้ยง (ดุสิต และคณะ, 2536) การย่อยสลายสารอินทรีย์เหล่านี้มีความต้องการบริโภคออกซิเจนในปริมาณสูงจนทำให้เกิดสภาวะไร้ออกซิเจน (anoxic condition) ที่บริเวณพื้นก้นบ่อ (Boyd *et al*., 2002; Avnimelech and Ritvo, 2003) และมีรายงานผลการวิจัยที่พบว่ากากตะกอน (sludge) ของเสียจากระบบเลี้ยงสัตว์น้ำหมุนเวียนอยู่ในสภาวะไร้ออกซิเจน (Mirzoyan *et al*., 2008) ซึ่งในสภาวะดังกล่าวทำให้เกิดกระบวนการย่อยสลายหรือกระบวนการเปลี่ยนแปลงของสิ่งมีชีวิตในดินตะกอนที่ไม่ใช้ออกซิเจน เช่น กระบวนการดีไนตริฟิเคชั่นและ/หรือซัลเฟตรีดักชั่นขึ้นมา (Nedwell and Trimmer, 1996; Zaggia *et al*., 2007) ทำให้มีการปล่อยสารอาหารออกมา ส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำ การเติบโตของแพลงก์ตอนพืช และความต้องการออกซิเจนในแหล่งน้ำ มีรายงานว่าดินตะกอนในอ่างเก็บน้ำที่อยู่ในสภาวะไร้ออกซิเจนมีการปล่อยฟอสฟอรัสและแอมโมเนียในปริมาณที่มากขึ้น (Appan and Ding-Sie,1996; Beutel, 2006) เนื่องจากสภาวะการขาดออกซิเจนของดินตะกอนผิวหน้าแหล่งน้ำ ทำให้กระบวนการไนตริฟิเคชั่นไม่สามารถเกิดขึ้นได้ และการลดลงของการนำแอมโมเนียเข้าไปใช้โดยจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจน จึงทำให้มีการสะสมของแอมโมเนียในดินตะกอนมากพอจนถูกปล่อยออกมาสู่มวลน้ำได้ ดังนั้นการเติมออกซิเจนลงในบ่อเลี้ยงให้เพียงพอจะช่วยกระตุ้นให้เกิดกระบวนการไนตริฟิเคชั่นและนำเอาแอมโมเนียและไนไตรท์ไปใช้แล้วเปลี่ยนเป็นไนเตรท สามารถควบคุมการปล่อยแอมโมเนียและสารประกอบไนโตรเจนจากดินตะกอนได้ (พุทธ, 2553)

กระบวนการเตรียมบ่อเลี้ยงกุ้งที่ไม่นำเอาเลนจากการเลี้ยงรอบที่ผ่านมาออกจากบ่อจำเป็นต้องมีการกระตุ้นให้ดินมีการปล่อยสารอาหารเหล่านี้ออกมาในน้ำเพื่อให้ดินมีสารอาหารลดลง พุทธ และคณะ (2553) แนะนำว่า การเตรียมบ่อโดยไม่มีการเอาดินตะกอนกลางบ่อซึ่งเป็นเลนที่สะสมสารอินทรีย์ออกจากบ่อ เกษตรกรจำเป็นต้องมีการลดความเน่าเสียของดินตะกอน โดยอาจใช้วิธีการพรวนดินพื้นบ่อ ตามแนวทางการพื้นฟูการเลี้ยงกุ้งกุลาดำโดยใช้ระบบรีไซเคิล ของ

กรมประมง (อนันต์, 2542) เพื่อให้ออกซิเจนสามารถเข้าไปย่อยสลายของเสีย สารอินทรีย์ และเพิ่มค่าศักย์ออกซิเดชั่น-รีดักชั่นของดินตะกอนพื้นบ่อได้ นอกจากนี้ Boyd และคณะ (2002) กล่าวว่า วิธีการคราดดินหรือคราดโซ่ที่บริเวณพื้นบ่อเลี้ยงจะช่วยเพิ่มออกซิเจนให้กับพื้นบ่อ ช่วยรักษาชั้นดินที่มีออกซิเจน (oxidized layer) ที่พื้นก้นบ่อได้

ผลจากการศึกษาครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่า การนำเอาสาหร่ายมาปลูกร่วมกับแนวคิดของการพรวนดินเลน ทำให้สาหร่ายสามารถดูดซับสารอาหารไนโตรเจนที่ปลดปล่อยออกมาจากตะกอนดินและเพิ่มออกซิเจนให้กับบ่อเลี้ยง การฟื้นฟูระบบนิเวศบ่อเลี้ยงกุ้งโดยใช้สาหร่ายไส้ไก่ ผลผลิตของสาหร่ายไส้ไก่ที่เพิ่มขึ้นสามารถเป็นตัวเพิ่มออกซิเจนให้กับบ่อ ทำให้บ่อเลี้ยงกุ้งอยู่ในสภาวะที่มีออกซิเจน (oxic condition) ส่งผลให้ระบบนิเวศมีการย่อยสลายในสภาวะไร้ออกซิเจนที่บริเวณหน้าดินน้อยลง ทำให้พื้นบ่อเลี้ยงมีความเหมาะสมต่อการเลี้ยงกุ้งได้ดีกว่าในระบบนิเวศที่มีแพลงก์ตอนพืชอย่างเดียว จึงน่าจะเป็นวิธีการที่ควรใช้ร่วมกัน เพื่อฟื้นฟูสภาพแวดล้อมของบ่อเลี้ยงกุ้งให้กลับมาสู่ความเหมาะสมและสมดุลของระบบนิเวศบ่อเพาะเลี้ยงกุ้งที่เอื้อให้กุ้งสามารถเจริญเติบโตได้ดีและมีความแข็งแรง

สรุปผลการทดลอง

ผลจากการศึกษาครั้งนี้สามารถสรุปได้ดังนี้

1. การเตรียมดินเพื่อปลูกสาหร่ายไส้ไก่ พบว่า สารอาหารจากการเลี้ยงกุ้งที่สะสมอยู่ในดินจะมีการย่อยสลายและปลดปล่อยออกมาสู่มวลน้ำโดยสารประกอบไนโตรเจนจะถูกปล่อยออกมาง่ายภายในเวลา 3 วัน ในขณะที่สารประกอบฟอสฟอรัสจะถูกปล่อยออกมาภายหลัง โดยที่ระดับน้ำต่ำจะทำให้สารอาหารในน้ำมีความเข้มข้นสูง มีผลให้สารอาหารในดินลดน้อยลง
2. การปลูกสาหร่ายไส้ไก่ในบ่อทำให้มีการดูดซับสารอาหารไปใช้ได้มากกว่า สารอาหารจึงลดลงได้มากกว่าบ่อที่มีแพลงก์ตอนพืชเพียงอย่างเดียว และผลจากสาหร่ายไส้ไก่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระบบนิเวศบ่อเลี้ยงกุ้งอย่างชัดเจนในการเพิ่มออกซิเจน และสาหร่ายจะตายภายใน 3 สัปดาห์ เมื่อสัดส่วนไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสมีค่าต่ำลง
3. ผลการศึกษาครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่าการใช้ดินเลนจากบ่อเลี้ยงกุ้งเพื่อปลูกสาหร่ายไส้ไก่ไนโตรเจนเป็นปัจจัยจำกัดในการเติบโตของสาหร่ายไส้ไก่

บทที่ 4

ผลของสาหร่ายไส้ไก่ (*Ulva intestinalis* Linnaeus) ต่อการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรมีชีวิต (biotic factors) ในระบบนิเวศบ่อเลี้ยงกุ้งจำลอง

บทคัดย่อ

การศึกษาผลของสาหร่ายไส้ไก่ (*Ulva intestinalis* Linnaeus) ต่อการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรมีชีวิต (biotic factors) ในระบบนิเวศบ่อเลี้ยงกุ้ง ได้ดำเนินการในบ่อน้ำกร่อยจำลองขนาดเล็ก (microcosm) ที่ใช้ดินเลนจากบ่อเลี้ยงกุ้งและเติมน้ำความเค็ม 20 ส่วนในพันส่วน ในระดับ 10 เซนติเมตร คราดดินเลนเพื่อเพิ่มออกซิเจนหน้าดินและให้สารอาหารในดินเลนละลายออกมาในน้ำสัปดาห์ละ 1 ครั้ง เป็นเวลา 2 สัปดาห์ และปลูกสาหร่ายไส้ไก่ในระดับ 28 และ 56 กรัมต่อตารางเมตร (T2 และ T3 ตามลำดับ) เปรียบเทียบกับชุดควบคุม (T1) ซึ่งไม่มีการปลูกสาหร่ายไส้ไก่ ผลการศึกษาพบว่าการปลูกสาหร่ายไส้ไก่ในบ่อทำให้มีคลอโรฟิลล์ เอ มากกว่าบ่อที่ไม่มีสาหร่ายไส้ไก่ (มีแพลงก์ตอนพืชเพียงอย่างเดียว) โดยในวันที่ 28 ของการทดลอง มีสัดส่วนของคลอโรฟิลล์ เอ ในสาหร่ายต่อคลอโรฟิลล์ เอ ใน แพลงก์ตอนพืชสูงสุดเท่ากับ 256.3 และ 656 เท่า ในชุดการทดลอง T2 และ T3 ตามลำดับ ชี้ให้เห็นว่าระบบนิเวศที่ปลูกสาหร่ายไส้ไก่มีศักยภาพในการดูดสารอาหาร และผลิตออกซิเจนจากกระบวนการสังเคราะห์แสงได้มากขึ้น และสาหร่ายไส้ไก่ยังมีผลต่อการสร้างอาหารธรรมชาติ รวมถึงการเป็นที่อยู่อาศัยและหลบซ่อนตัวของหนอนแดง ตัวอ่อนยุง ตัวอ่อนโคพิพอด โดยเฉพาะ harpacticoid copepod ซึ่งสิ่งมีชีวิตเหล่านี้เป็นอาหารธรรมชาติที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของลูกกุ้งวัยอ่อน โดยปริมาณอาหารธรรมชาติมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณสาหร่ายไส้ไก่ ดังนั้น ผลการวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่า สาหร่ายไส้ไก่ที่มีในบ่อเลี้ยงกุ้งสามารถส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรมีชีวิตในระบบนิเวศบ่อเลี้ยงกุ้ง สร้างอาหารธรรมชาติและเป็นที่อยู่อาศัยที่เหมาะสมต่อการเติบโตของลูกกุ้งวัยอ่อนที่ปล่อยลงเลี้ยง

Effects of gutweed (*Ulva intestinalis* Linnaeus) on changing of biotic factors in the ecosystem in brackish water microcosms

Abstract

A study on the effects of gutweed (*Ulva intestinalis* Linnaeus) on shrimp pond ecosystem changing was conducted in a brackish water microcosm, in which the sludge from shrimp pond was added on the bottom. Twenty ppt saline water was added into the microcosm at 10 cm deep and the sludge was stirred at weekly intervals for 2 weeks to increase oxygen transfer and nutrient release from sludge. Gutweed was grown in the microcosms at two densities; 28 and 56 g/m^2 (T2 and T3, respectively), and compared to the control (T1) without gutweed. Result from the study showed that chlorophyll *a* from gutweed was higher than that from phytoplankton. The ratio of chlorophyll a in gutweed:chlorophyll *a* in phytoplankton reached the highest in the 28th day accounted for 256.3 and 656 times in T2 and T3, respectively, which indicated a higher nutrient uptake and higher dissolved oxygen level from photosynthesis. Furthermore, gutweed also played effect on production natural food as well as providing of shelter and habitat for chironomid larvae, mosquito larvae, nauplius of copepods especially harpacticoid of which these natural foods are suitable for supporting growth of shrimp larvae. The amount of these natural foods showed positive correlation to the biomass of gutweed. Thus, results from this study indicate that using of gutweed in shrimp pond affects the changing of biotic factors in shrimp pond ecosystem providing of natural foods, shelter and habitat that is suitable for growth of shrimp larvae.

บทนำ

ปัจจุบันการใช้สาหร่ายไส้ไก่มีบทบาทสำคัญต่อการฟื้นฟูการเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ประสบปัญหากุ้งโตช้าและผลผลิตตกต่ำในหลายพื้นที่ของประเทศไทย โดยประยูร และคณะ (2549) รายงานว่าในระหว่างการเตรียมบ่อเลี้ยงกุ้งของสุรีรัตน์ฟาร์มที่มีระดับน้ำ 1.2 ม. และปลูกสาหร่ายไส้ไก่จนเติบโตมีปริมาณ 30 % ของพื้นที่บ่อแล้วจึงปล่อยลูกกุ้งกุลาดำลงไปเลี้ยง กุ้งสามารถเติบโตได้โดยไม่ต้องให้อาหารจนกว่าสาหร่ายไส้ไก่ในบ่อหมดไป ซึ่งใช้เวลานานประมาณ 50 วันหลังจากนั้นจึงเริ่มให้อาหาร บ่อที่เตรียมด้วยวิธีการนี้สามารถผลิตกุ้งกุลาดำได้ขนาดใหญ่และมีต้นทุนต่ำ แนวคิดนี้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในฟาร์มเลี้ยงกุ้งของดำรงฟาร์มในจังหวัดสงขลา โดยปลูกสาหร่ายไส้ไก่ในบ่อเลี้ยงกุ้งที่มีระดับน้ำต่ำประมาณ 10 – 30 ซม. เพื่อกระตุ้นให้เกิดอาหารธรรมชาติได้มากและง่ายขึ้น หลังจากสาหร่ายเติบโตดีจึงปล่อยกุ้งกุลาดำลงเลี้ยง พบว่ากุ้งโตเร็วมีอัตราการเจริญเติบโต (ADG) เท่ากับ 0.21 - 0.23 ก./วัน มีอัตราการรอดตาย 88 – 96 % และได้ผลผลิตสูงถึง 1.5 – 1.6 ตัน/ไร่ (ข้อมูลจากการสอบถามส่วนบุคคล)

สาหร่ายที่เติบโตอยู่ในน้ำแสดงบทบาทสำคัญต่อโครงสร้างและนิเวศวิทยาของระบบนิเวศชายฝั่ง (Sand-Jensen and Krause-Jensen, 1997) แหล่งสาหร่ายทะเลเป็นบริเวณหนึ่งที่มีความอุดมสมบูรณ์ของผลผลิตขั้นต้น (Primary production) จึงทำให้เป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของสัตว์ชนิดต่างๆ (Ranjitham *et al*., 2008) ในระบบนิเวศบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำขนาด 4 ไร่ ที่ไม่ได้เอาดินเลนออก และมีการตากบ่อเป็นเวลา 2 สัปดาห์แล้วเติมน้ำลึก 1.2-1.5 ม. และปลูกสาหร่ายไส้ไก่ไว้ 2 สัปดาห์ แล้วจึงปล่อยกุ้งกุลาดำลงเลี้ยง มีรายงานว่าพบสัตว์หน้าดิน 9 กลุ่ม ใน 3 Phylum สัตว์หน้าดินกลุ่มหลักที่พบเป็นสัตว์หน้าดินกลุ่ม chironomid ใน Phylum Arthropoda และกลุ่มหอยสองฝาใน Phylum Mollusca โดยพบสัตว์หน้าดินในกลุ่มหอยสองฝาในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่มีสาหร่ายไส้ไก่มากกว่าในบ่อควบคุม (จริยาวดี และคณะ, 2551) อย่างไรก็ตามผลของสาหร่ายไส้ไก่ต่อการเปลี่ยนแปลงของระบบนิเวศยังไม่ได้ถูกอธิบายอย่างชัดเจนโดยเฉพาะในประเด็นที่ระบบการเลี้ยงกุ้งมีปริมาณสาหร่ายไส้ไก่เริ่มต้นแตกต่างกันและการอธิบายในสภาวะที่ไม่มีการรบกวนของกุ้งที่เข้าไปกินสาหร่ายและสิ่งมีชีวิตอื่นๆ เป็นอาหาร ดังนั้นการสร้างความเข้าใจถึงบทบาทของสาหร่ายไส้ไก่ต่อการเกิดขึ้นของอาหารธรรมชาติ จะสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการเตรียมอาหารธรรมชาติและพัฒนาเทคนิคของการใช้สาหร่ายในการฟื้นฟูการเลี้ยงกุ้งกุลาดำต่อไป

วัตถุประสงค์

เพื่อที่จะเปรียบเทียบผลของปริมาณสาหร่ายที่แตกต่างกัน 3 ระดับ ต่อการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยที่มีชีวิต (biotic factors) ที่เกี่ยวข้องกับอาหารธรรมชาติในบ่อในสภาวะแวดล้อมที่ไม่มีการรบกวนของกุ้งรวมทั้งหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยดังกล่าว

อุปกรณ์และวิธีการ

1. สถานที่และการเตรียมบ่อน้ำกร่อยจำลองขนาดเล็ก

ทำการศึกษาที่สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง เตรียมบ่อน้ำกร่อยจำลองขนาดเล็ก โดยใช้ภาชนะไฟเบอร์กลาสทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 95 ซม. สูง 50 ซม. ปริมาตร 350 ล. จำลองให้มีระบบนิเวศคล้ายคลึงกับบ่อดินเลี้ยงกุ้งกุลาดำกลางแจ้งในช่วงที่เตรียมอาหารธรรมชาติโดยวางบ่อทดลองบริเวณกลางแจ้ง เรียงเป็นแถวเดียวในแนวทิศเหนือ-ทิศใต้เพื่อให้ทุกถังได้รับแสงเต็มที่ทั้งในช่วงเช้าและช่วงบ่าย จากนั้นวางกระบะพลาสติกทรงสี่เหลี่ยมขนาดกว้าง 10 ซม. ยาว 10 ซม. (ขนาดพื้นที่ 400 ตร.ซม.) ที่ใช้เก็บตัวอย่างดินและสัตว์หน้าดิน ถังละ 6 ใบ แล้วจึงนำดินเลนจากบริเวณกลางบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำของดำรงฟาร์มในอำเภอเทพา จังหวัดสงขลา ที่จับกุ้งไปแล้วเป็นเวลา 5 วัน ทำให้เป็นเนื้อเดียวกันแล้วตวงใส่บ่อทดลองจนเต็มพื้นที่ก้นบ่อ โดยตวงดินเลนบ่อละ 0.02 ลบ.ม. ความสูงของดิน 10 ซม. แล้วเติมน้ำทะเลความเค็ม 20 ส่วนในพันส่วน ระดับน้ำสูงขึ้นมาจากผิวดิน 5 ซม.

2. การวางแผนการทดลอง

การทดลองครั้งนี้ใช้ระยะเวลารวม 6 สัปดาห์ โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ช่วง ดังนี้

ช่วงที่ 1 ช่วงเตรียมดินก่อนปลูกสาหร่ายไส้ไก่ โดยคราดดินในบ่อทดลองที่มีระดับน้ำ 5 ซม. จำนวน 9 บ่อ ด้วยส้อมพรวนดินเพื่อเพิ่มออกซิเจนหน้าดิน (Boyd *et al*., 2002) และให้สารอาหารในดินเลนละลายออกมาในน้ำ แล้วปล่อยไว้เป็นเวลา 1 สัปดาห์ หลังจากนั้นจึงทำการคราดดินซ้ำอีกครั้งด้วยวิธีการเดิมและปล่อยไว้ต่อไปจนครบ 2 สัปดาห์

ช่วงที่ 2 ช่วงปลูกสาหร่ายไส้ไก่ หลังจากเตรียมดินจนครบ 2 สัปดาห์แล้วจึงเติมน้ำเพิ่มจนได้ระดับ 10 ซม.และเริ่มปลูกสาหร่ายโดยแบ่งเป็น 3 ชุดการทดลองๆ ละ 3 ซ้ำ โดยมีการปลูกสาหร่ายไส้ไก่ 3 ระดับ ดังนี้ ชุดการทดลองที่ 1 (T1) ไม่ปลูกสาหร่ายไส้ไก่ (ชุดควบคุม) ชุดการ

ทดลองที่ 2 (T2) ปลูกสาหร่ายไส้ไก่ปริมาณ 28 ก./ตร.ม. ซึ่งจากการทดลองเบื้องต้นเป็นเวลา 2 สัปดาห์ จะได้สาหร่ายไส้ไก่ประมาณ 30-40 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่บ่อซึ่งเท่ากับปริมาณที่เหมาะสมที่เกษตรกรเริ่มปล่อยกุ้งลงเลี้ยง และชุดการทดลองที่ 3 ปลูกสาหร่ายไส้ไก่ปริมาณ 56 ก./ตร.ม. (ปริมาณสาหร่ายไส้ไก่ 2 เท่า ของปริมาณที่เหมาะสม) ทดลองเป็นเวลา 4 สัปดาห์ ในระหว่างการทดลองเก็บตัวอย่างเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของระบบนิเวศของบ่อทดลองทุกบ่อ สัปดาห์ละ 1 ครั้ง

3. การเก็บตัวอย่างและศึกษาการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรที่มีชีวิต (biotic factor) ในระบบนิเวศ

คลอโรฟิลล์ เอ (Chlorophyll *a*)

เก็บตัวอย่างน้ำที่ระดับผิวน้ำ สัปดาห์ละ 1 ครั้ง เพื่อศึกษาปริมาณแพลงก์ตอนพืชในรูปของคลอโรฟิลล์ เอ โดยการกรองด้วย Membrane filter (Satorious) แล้วนำกระดาษกรองไปแช่สกัดเอาคลอโรฟิลล์ เอ ออกมาด้วยสารละลายอะซิโตน 90% เป็นเวลาประมาณ 1 คืน นำไปวัดการดูดกลืนแสง และคำนวณปริมาณความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ เอ ตามวิธีของ Strickland และ Parsons (1972)

สาหร่ายไส้ไก่

วัดการเติบโตของสาหร่ายไส้ไก่สัปดาห์ละ 1 ครั้ง โดยแบ่งสาหร่ายในบ่อทดลองที่มีสาหร่ายใส่ตะกร้าพลาสติกบ่อละ 3 ตะกร้าๆ ละ 3 ก. ผูกให้ลอยอยู่ที่ผิวน้ำเมื่อครบ 1 สัปดาห์ ชั่งน้ำหนักของสาหร่ายที่เพิ่มขึ้น แล้วคำนวณการเติบโตของสาหร่าย จากสูตร

$$WG = \frac{\frac{WP_0 \times WS_t}{WS_0} - WP_0}{t}$$

เมื่อ WG=การเติบโตของสาหร่ายในบ่อทดลอง (ก./วัน) WP_0=น้ำหนักสาหร่ายเริ่มต้นในบ่อทดลอง (ก.) WS_0= น้ำหนักสาหร่ายเริ่มต้นในตะกร้า (ก.) WS_t= น้ำหนักสาหร่ายในตะกร้าที่เวลา t (ก.) t= ระยะเวลาในช่วงที่วัดการเจริญเติบโต (วัน)

เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบ ปริมาณสาหร่ายไส้ไก่กับแพลงก์ตอนพืชในบ่อทดลอง จึงได้นำสาหร่ายไส้ไก่มาวิเคราะห์คลอโรฟิลล์ เอ โดยเก็บตัวอย่างสาหร่ายไส้ไก่สด ชั่งน้ำหนัก

0.1 ก. แล้ววิเคราะห์หาปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ด้วยวิธีเดียวกันกับการหาคลอโรฟิลล์ เอ ในแพลงก์-ตอนพืช แล้วจึงคำนวณปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในสาหร่ายไส้ไก่ต่อปริมาตรน้ำในบ่อ จากสูตร

$$ChlaW = \frac{Chl\ a \times V}{1000 \times W} \qquad \text{และ} \qquad ChlaW_p = \frac{ChlaW \times W_p}{V_p}$$

เมื่อ ChlaW=คลอโรฟิลล์ เอ ของสาหร่ายไส้ไก่ (มคก.(ไมโครกรัม)/ก.) Chl a = ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ที่วัดได้ (มคก./ล.) V=ปริมาตรของอะซีโตนที่สกัด (มล.) W=น้ำหนักของสาหร่ายที่สกัด (ก.) $ChlaW_p$=คลอโรฟิลล์ เอ ของสาหร่ายไส้ไก่ในบ่อทดลอง (มคก./ล.) W_p=น้ำหนักสาหร่ายทั้งหมดในบ่อทดลอง (ก.) V_p= ปริมาตรน้ำทั้งหมดในบ่อทดลอง (ล.)

แพลงก์ตอนสัตว์ และสัตว์พื้นใต้น้ำ (benthos)

เก็บตัวอย่างแพลงก์ตอนสัตว์สัปดาห์ละ 1 ครั้ง โดยตักน้ำในบ่อทดลองบ่อละ 3 ลิตรกรองผ่านกรวยกรองขนาดตา 22 ไมครอน เก็บรักษาตัวอย่างในสารละลายฟอร์มาลีน 10% นับจำนวนของแพลงก์ตอนสัตว์ที่จำแนกกลุ่มแล้วตามหนังสือแพลงก์ตอนสัตว์ (ลัดดา, 2541) หนังสือ Illustration of the Marine Plankton of Japan (Yamaji, 1979) หนังสือ Introduction to the Common Marine Zooplankton of Peninsular Malaysia (Arvin, 1977) และหนังสือ Entomology (Gillott, 1995)

เก็บตัวอย่างสัตว์พื้นใต้น้ำสัปดาห์ละ 1 ครั้ง จากกระบะเก็บตัวอย่างดินที่เตรียมไว้ในช่วงเริ่มต้น นำตัวอย่างดินครึ่งกระบะ พื้นที่ 200 ตร.ซม. มาร่อนด้วยตะแกรงร่อนขนาดตา 420 ไมครอน เก็บตัวอย่างสัตว์พื้นใต้น้ำที่พบอยู่บนตะแกรงทั้งหมดรักษาไว้ในสารละลายฟอร์มาลีน 10% นับจำนวนสัตว์พื้นใต้น้ำที่จำแนกกลุ่มแล้วตามหนังสือ Entomology (Gillott, 1995) และหนังสือ The Insects : An Outline of Entomology (Gullan and Cranston, 2005)

เนื่องจากบริเวณที่สาหร่ายเติบโตขึ้นมาอาจเป็นบริเวณที่อาศัยของสิ่งมีชีวิตที่เกิดขึ้นในระบบนิเวศ (Ranjitham *et al*., 2008) ในการศึกษาครั้งนี้จึงได้เก็บตัวอย่างสิ่งมีชีวิตที่อาจเข้าไปอยู่กับสาหร่ายไส้ไก่ โดยเก็บตัวอย่างสาหร่ายจากบริเวณผิวน้ำ กลางน้ำ และบริเวณเหนือดินเลนมาประมาณ 3 ก. ทุกสัปดาห์ คัดแยกสิ่งมีชีวิตที่เข้ามาอยู่ในสาหร่ายแล้วเก็บรักษาในสารละลายฟอร์มาลีน 10% นำไปส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 20-30 เท่า เพื่อนับปริมาณสัตว์พื้นใต้น้ำและแพลงก์ตอนสัตว์ขนาดใหญ่ และนับจำนวนแพลงก์ตอนสัตว์ขนาดเล็กในตัวอย่างด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 100 เท่า คำนวณเป็นความหนาแน่นเฉลี่ยต่อพื้นที่ และปริมาตรน้ำในบ่อเลี้ยงตามลำดับดังนี้

$$BenW_p = \frac{BenW_s \times W_P}{W_s \times A_p} \qquad \text{และ} \qquad ZooW_p = \frac{ZooW_s \times W_p}{W_s \times V_p}$$

เมื่อ $BenW_p$ = ปริมาณสัตว์พื้นใต้น้ำที่เข้าไปอาศัยกับสาหร่ายไส้ไก่ในบ่อ (ตัว/ตร.ม.) และ $BenW_s$ = ปริมาณสัตว์พื้นใต้น้ำที่เข้าไปอาศัยกับตัวอย่างสาหร่ายไส้ไก่ (ตัว) W_P= น้ำหนักสาหร่ายทั้งหมดในบ่อทดลอง (ก.) W_s= น้ำหนักสาหร่ายที่เก็บตัวอย่าง (ก.) A_p= พื้นที่ทั้งหมดของบ่อทดลอง(ตร.ม.) และ $ZooW_p$= ปริมาณแพลงก์ตอนสัตว์ที่เข้าไปอาศัยกับสาหร่ายไส้ไก่ในบ่อ (ตัว/ล.) $ZooW_s$ = ปริมาณแพลงก์ตอนสัตว์ที่เข้าไปอาศัยกับตัวอย่างสาหร่ายไส้ไก่ (ตัว) W_P= น้ำหนักสาหร่ายทั้งหมดในบ่อทดลอง (ก.) W_s= น้ำหนักสาหร่ายที่เก็บตัวอย่าง (ก.) และ V_p= ปริมาตรน้ำทั้งหมดในบ่อทดลอง (ล.)

4. การวิเคราะห์ทางสถิติ

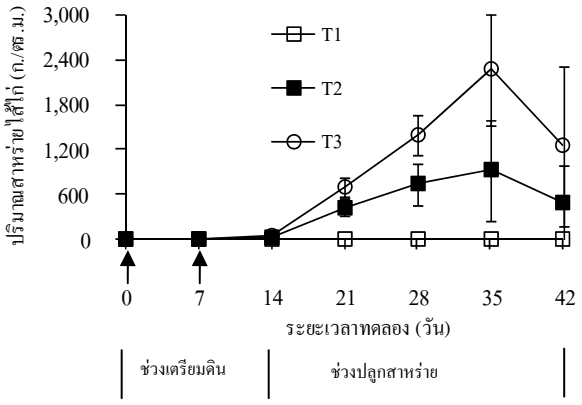
ในการศึกษาครั้งนี้ได้วางแผนการทดลองแบบที่มีการวัดซ้ำ (Repeated Measurement Experiment) (Field, 2008) โดยเก็บตัวอย่างตัวแปรในระบบนิเวศ ได้แก่ สาหร่ายไส้ไก่ แพลงก์ตอนพืช แพลงก์ตอนสัตว์และสัตว์พื้นใต้น้ำ ที่เปลี่ยนแปลงทุกสัปดาห์ ดังนั้นจึงวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรแต่ละกลุ่มที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากปัจจัยปริมาณสาหร่ายไส้ไก่ รวมถึงอิทธิพลของเวลาที่เกิดขึ้นในระหว่างการทดลองโดยใช้ General Linear Model แบบ Repeated Measures ด้วยโปรแกรม SPSS Version 16.0

วิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ (Multiple Linear Regression analysis) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสาหร่ายไส้ไก่ กับปริมาณแพลงก์ตอนสัตว์ และสัตว์พื้นใต้น้ำ โดยใช้วิธี Stepwise ของโปรแกรม SPSS และใช้ค่า Variance of Inflation (VIF) ที่มีค่าน้อยกว่า 4 ในการยอมรับตัวแปรในสมการเพื่อป้องกันปัญหาการเกิดความสัมพันธ์ภายในระหว่างตัวแปร (Multicolinearity) (Kutner *et al*., 2004)

ผลการทดลอง

สาหร่ายไส้ไก่

ผลของการปลูกสาหร่ายไส้ไก่หลังจากเตรียมดินในบ่อเลี้ยงกุ้งจำลองขนาดเล็กแล้วเป็นเวลา 14 วัน พบว่า สาหร่ายมีการเติบโตเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนมีปริมาณสูงสุดภายในเวลา 21 วัน (วันที่ 35 ของการทดลอง) โดยชุดการทดลอง T2 สาหร่ายมีน้ำหนักเท่ากับ 926 ± 667 ก./ตร.ม. ซึ่งคิดเป็น 33 เท่า ของน้ำหนักเริ่มต้น และมีอัตราการเติบโตเท่ากับ 43 ± 32 ก. ต่อวัน ส่วนชุดการทดลอง T3 สาหร่ายมีน้ำหนักเท่ากับ 2,268 ± 739 ก./ตร.ม. ซึ่งคิดเป็น 40 เท่า ของน้ำหนักเริ่มต้น และมีอัตราการเติบโตเท่ากับ 105 ± 35 ก. ต่อวัน หลังจากนั้นสาหร่ายไส้ไก่จึงเริ่มตายและมีปริมาณลดลงในอัตรา 63 ± 44 และ 145 ± 48 ก. ต่อวัน ในชุดการทดลองที่ 2 และ 3 ตามลำดับ (รูปที่ 4-1)



รูปที่ 4-1 การเติบโตของสาหร่ายไส้ไก่ที่ปลูกในปริมาณ 0, 28 และ 56 ก./ตร.ม. หลังจากการเตรียมดิน 14 วัน (T1 = 0, T2 = 28 และ T3 = 56 ก./ตร.ม.) (mean ± SD, n=3) ลูกศร ↑ แสดงวันที่คราดดิน

แพลงก์ตอนพืช

ปริมาณแพลงก์ตอนพืชซึ่งวัดในรูปของคลอโรฟิลล์ เอ ในบ่อเลี้ยงกุ้งจำลองขนาดเล็ก พบว่า ในช่วงของการเตรียมดินมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และมีปริมาณสูงสุดในวันที่ 14 ของการทดลอง หลังจากนั้นจึงมีปริมาณลดลงทั้งในชุดการทดลองที่ปลูกสาหร่ายไส้ไก่และในชุดควบคุม โดยในช่วงแรกของการปลูกสาหร่าย พบว่าปริมาณแพลงก์ตอนพืชในชุดการทดลองที่ปลูกสาหร่ายไส้ไก่มีค่าต่ำกว่าในชุดควบคุมแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ จนในวันที่ 31 ของการ

ทดลองปริมาณแพลงก์ตอนพืชในชุดการทดลองที่ปลูกสาหร่ายจึงมีค่าต่ำกว่าในชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) และเมื่อพิจารณาปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในสาหร่ายไส้ไก่ พบว่ามีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตามการเติบโตของสาหร่ายและมีปริมาณสูงสุดในวันที่ 28 ของการทดลอง สำหรับในวันที่ 35 ของการทดลองซึ่งสาหร่ายมีการเติบโตสูงสุดปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ กลับเริ่มลดลง เนื่องจากสาหร่ายเริ่มมีการตาย โดยเมื่อเปรียบเทียบปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในแพลงก์ตอนพืชกับปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในสาหร่ายไส้ไก่ พบว่า สัดส่วนของคลอโรฟิลล์ เอ ในสาหร่ายต่อคลอโรฟิลล์ เอ ใน แพลงก์ตอนพืชมีค่าสูงสุดในวันที่ 28 ของการทดลอง (ตารางที่ 4-1) โดยมีค่าเท่ากับ 256.3 และ 656 เท่า ในชุดการทดลอง T2 และ T3 ตามลำดับ

แพลงก์ตอนสัตว์

จากการศึกษาพบแพลงก์ตอนสัตว์ใน Phylum Arthropoda จำนวน 3 Order ได้แก่ Order Diptera (ตัวอ่อนยุง : Mosquito larva) Order Cyclopoida (Cyclopoid copepod) และ Order Harpacticoida (Harpacticoid copepod) และพบแพลงก์ตอนสัตว์ใน Phylum Rotifera 2 ชนิด ได้แก่ โรติเฟอร์ *Brachionus* sp. และ *Colurella* sp. และใน Phylum Protozoa 1 ชนิด ได้แก่ *Euplotes* sp. (ตารางที่ 4-2)

ในช่วงเตรียมดินแพลงก์ตอนสัตว์กลุ่มหลักที่พบมากที่สุด ได้แก่ ตัวอ่อนยุง รองลงมาได้แก่กลุ่ม Copepoda ซึ่งพบ Cyclopoid copepod เกิดขึ้นก่อนในวันที่ 7 ของการทดลอง หลังจากนั้นจึงพบ Harpacticoid copepod ในวันที่ 14 ของการทดลอง และพบโรติเฟอร์ *Brachionus* sp. ในชุดการทดลอง T1 ในวันที่ 7 ของการทดลอง สำหรับวันที่ 14 พบโรติเฟอร์ *Brachionus* sp. ในทุกชุดการทดลอง โดยแพลงก์ตอนสัตว์ในกลุ่มตัวอ่อนยุงและกลุ่ม Copepoda พบได้ตลอดการทดลองในทุกชุดการทดลอง นอกจากนี้ยังพบโปรโตซัว *Euplotes* sp. ในชุดการทดลอง T3 ในวันที่ 14 ของการทดลองอีกด้วย

สำหรับในช่วงปลูกสาหร่ายไส้ไก่พบแพลงก์ตอนสัตว์กลุ่มหลักเช่นเดียวกับช่วงเตรียมดินโดยชนิดของแพลงก์ตอนสัตว์ที่พบมากที่สุด ได้แก่ โคพิพอด รองลงมาได้แก่ ตัวอ่อนยุง และโรติเฟอร์ *Brachionus* sp. ตามลำดับ สำหรับโคพิพอด พบว่ามีปริมาณเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการทดลอง และเมื่อพิจารณาชนิดและปริมาณของโคพิพอดในน้ำและในสาหร่าย พบว่ามี Cyclopoid copepod ในน้ำมากกว่าในสาหร่าย และพบ Harpacticoid copepod ในสาหร่ายมากกว่าในน้ำ นอกจากนี้ยังพบว่าตัวอ่อนโคพิพอดอยู่ในสาหร่ายมากกว่าในน้ำ โดยมีสัดส่วนในสาหร่ายต่อในน้ำสูงถึง 1,107.5 เท่า ในชุดการทดลอง T3 ในวันที่ 42 ของการทดลอง นอกจากนี้พบว่าในชุดการ

ทดลอง T3 มีปริมาณตัวอ่อนโคพิพอดและโคพิพอดรวมมากที่สุด รองลงมาคือชุดการทดลอง T2 และ T1 ตามลำดับ

ตารางที่ 4-1 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในสาหร่ายไส้ไก่ (A) และในแพลงก์ตอนพืช (B) ในแต่ละชุดการทดลองและสัดส่วนคลอโรฟิลล์ เอ

ช่วงการทดลอง	ระยะเวลา (วัน)	ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในชุดการทดลอง (มคก./ล.) และสัดส่วนของคลอโรฟิลล์ เอ										
		T1			T2				T3			
		สาหร่าย (A)	แพลงก์ตอนพืช (B)	A:B	สาหร่าย (A)	แพลงก์ตอนพืช (B)	A+B	A:B	สาหร่าย (A)	แพลงก์ตอนพืช (B)	A+B	A:B
หมักดิน	0	0	10.6	-	0	11.0	11.0	-	0	10.0	10.0	-
	7	0	22.2	-	0	34.0	34.0	-	0	26.8	26.8	-
ปลูกสาหร่าย	14	0	41.4	-	291.3	34.3	325.6	8.5	582.5	39.8	622.4	14.6
	21	0	28.5	-	3,577.2	19.0	3,596.2	188.4	5,860.7	17.3	5,878.0	339.3
	28	0	18.6	-	4,705.2	18.4	4,723.6	256.3	8,833.5	13.4	8,846.9	656.0
	35	0	16.3	-	3,477.9	13.9	3,491.8	250.0	8,517.2	16.6	8,533.8	512.4
	42	0	19.1	-	1,998.9	15.4	2,014.3	130.2	5,161.8	18.2	5,180.0	284.0

ตารางที่ 4-2 ปริมาณแพลงก์ตอนสัตว์และสัตว์พื้นใต้น้ำแต่ละชนิดที่พบในช่วงปลูกสาหร่ายที่ระยะเวลาทดลองต่าง ๆ (วัน)และสัดส่วนที่พบในน้ำและในสาหร่ายไส้ไก่

ชุดการทดลอง	ชนิดแพลงก์ตอนสัตว์และสัตว์พื้นใต้น้ำ	ปริมาณแพลงก์ตอนสัตว์ และสัตว์พื้นใต้น้ำที่ระยะเวลาทดลองต่าง ๆ (วัน)																		
		ช่วงเตรียมดิน			ช่วงปลูกสาหร่าย															
		0	7	14	21				28				35				42			
		A	A	A	A	B	A+B	B:A	A	B	A+B	B:A	A	B	A+B	B:A	A	B	A+B	B:A
T1	Mosquito larvae	0	548	475	471	0	471		471	0	471		710	0	710		739	0	739	
	Copepod nauplius	0	10	25	67	0	67		75	0	75		6	0	6		0	0	0	
	Cyclopoid copepod	0	42	53	308	0	308		908	0	908		141	0	141		456	0	456	
	Harpacticoid	0	0	0	50	0	50		153	0	153		39	0	39		63	0	63	
	Brachionus sp.	0	13	28	19	0	19		0	0	0		0	0	0		0	0	0	
	Colurella sp.	0	0	0	0	0	0		0	0	0		0	0	0		0	0	0	
	Chironomus sp.	0	17	33	2767	0	2767		9733	0	9733		27117	0	27117		41267	0	41267	0
T2	Mosquito larvae	0	325	286	126	46	172	0.4	348	10	358	0.0	521	72	593	0.1	948	24	972	0.0
	Copepod nauplius	0	7	144	50	96	146	1.9	0	199	199	199	0	2879	2879	2879	0	790	790	790
	Cyclopoid copepod	0	7	81	356	15	371	0.0	439	7	446	0.0	156	13	169	0.1	174	8	182	0.0
	Harpacticoid	0	0	8	47	6	53	0.1	56	37	93	0.7	20	40	60	2.0	6	149	155	24.8
	Brachionus sp.	0	0	245	0	0	0	-	0	0	0	-	0	0	0	-	0	0	0	-
	Colurella sp.	0	0	6	0	0	0	-	0	0	0	-	0	124	124	124	0	0	0	-
	Chironomus sp	0	0	617	2283	288	2571	0.1	8783	15790	24573	1.8	14350	23557	37907	1.6	28117	7521	35638	0.3
T3	Mosquito larvae	0	298	186	250	36	286	0.1	629	85	714	0.1	704	180	884	0.3	1318	35	1353	0.0
	Copepod nauplius	0	2	78	61	279	340	4.6	72	5141	5213	71.4	20	18779	18799	939.0	2	2215	2217	1107.5
	Cyclopoid copepod	0	28	100	139	12	151	0.1	267	6	273	0.0	37	97	134	2.6	330	4	334	0.0
	Harpacticoid	0	0	11	11	0	11	0.0	39	298	337	7.6	7	521	528	74.4	59	381	440	6.5
	Brachionus sp.	0	0	178	3	0	3	0.0	0	0	0	-	0	2917	2917	2917	0	318	318	318
	Colurella sp.	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	-	0	1954	1954	1954	0	0	0	-
	Euplotes sp.	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Chironomus sp	0	33	317	2350	1378	3728	0.6	5533	13248	18781	2.4	9517	86240	95757	9.1	18000	18067	36067	1.0

A=ปริมาณแพลงก์ตอนสัตว์(ตัว/ล.) และสัตว์พื้นใต้น้ำ(ตัว/ตร.ม.) ที่อยู่ในน้ำ B=ปริมาณแพลงก์ตอนสัตว์(ตัว/ล.) และสัตว์พื้นใต้น้ำ(ตัว/ตร.ม.) ในสาหร่าย

จากผลการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ (ตารางที่ 4-3) พบว่า ปริมาณแพลงก์ตอนสัตว์ทั้งหมด แพลงก์ตอนสัตว์รวมในสาหร่าย โคพิพอดทั้งหมด โคพิพอดในสาหร่าย และตัวอ่อนยุงในสาหร่าย มีความแตกต่างกันอย่างยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) ในระหว่างชุดการทดลอง โดยในชุดการทดลองที่มีสาหร่ายมาก ปริมาณแพลงก์ตอนสัตว์เหล่านี้ก็มากด้วย นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณแพลงก์ตอนสัตว์ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยเวลาในการทดลอง โดยระยะเวลานานทำให้แพลงก์ตอนสัตว์มีปริมาณเพิ่มขึ้น และปริมาณแพลงก์ตอนสัตว์ทั้งหมด โคพิพอดทั้งหมด โคพิพอดรวมในสาหร่าย และตัวอ่อนยุงในสาหร่ายยังมีผลจากอิทธิพลร่วมระหว่างสาหร่ายไส้ไก่และเวลาด้วย

จากผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสาหร่ายไส้ไก่กับแพลงก์ตอนสัตว์ (ตารางที่ 4-4) พบว่า ปริมาณแพลงก์ตอนสัตว์รวม โคพิพอด และแพลงก์ตอนสัตว์อื่น ๆ มีความสัมพันธ์กับปริมาณสาหร่ายไส้ไก่ โดยที่ปริมาณสาหร่ายไส้ไก่มาก ปริมาณแพลงก์ตอนสัตว์ก็มากตามไปด้วย

สัตว์พื้นใต้น้ำ

การทดลองครั้งนี้พบสัตว์พื้นใต้น้ำเพียงชนิดเดียว คือ หนอนแดง (Chironomid larva) อยู่ใน Phylum Arthropoda Class Insecta Order Diptera Family Chironomidae โดยเริ่มพบหนอนแดงหลังจากเตรียมดินไปแล้ว 7 วัน และมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการทดลอง ในชุดการทดลอง T1 มีปริมาณหนอนแดงสูงสุดในวันที่ 42 ของการทดลอง เท่ากับ 41,267 ตัว/ตร.ม. สำหรับในชุดการทดลอง T2 และ T3 หนอนแดงมีปริมาณสูงสุดในวันที่ 35 ของการทดลองซึ่งมีปริมาณสูงสุดเท่ากับ 37,907 และ 95,757 ตัว/ตร.ม. ตามลำดับ หลังจากนั้นปริมาณหนอนแดงเริ่มลดลงในวันที่ 42 ของการทดลอง และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณหนอนแดงหน้าดินและในสาหร่าย (ตารางที่ 4-2) พบว่า เมื่อสาหร่ายมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาทดลองหนอนแดงที่อยู่ในสาหร่ายมีปริมาณเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน ขณะที่ปริมาณหนอนแดงหน้าดินลดลงโดยสัดส่วนของหนอนแดงในสาหร่าย : หนอนแดงหน้าดิน เพิ่มจาก 0.1 และ 0.6 เท่าในวันที่ 21 เป็น 1.6 และ 9.1 เท่าในวันที่ 35 ของการทดลอง ในชุดการทดลอง T2 และ T3 ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบหนอนแดงในแต่ละชุดการทดลอง (ตารางที่ 4-3) พบว่าปริมาณหนอนแดงทั้งหมดในแต่ละชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) แต่เมื่อพิจารณาหนอนแดงหน้าดินและหนอนแดงในสาหร่ายไส้ไก่พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติในระหว่างชุดการทดลอง โดยที่ในชุดการทดลอง T1 มีปริมาณหนอนแดงหน้าดินมากที่สุด รองลงมาได้แก่ชุดการทดลอง T2 และ T3 ตามลำดับ สำหรับปริมาณหนอนแดงในสาหร่าย พบว่า ในชุดการทดลอง T3 มี

ปริมาณสูงสุด รองลงมาได้แก่ในชุดการทดลอง T2 และ T1 ตามลำดับ (ตารางที่ 4-2) นอกจากนี้พบว่าปัจจัยเวลามีอิทธิพลต่อปริมาณหนอนแดง ($P<0.01$) และมีอิทธิพลร่วมของปริมาณสาหร่ายไส้ไก่และเวลาด้วย

ตารางที่ 4-3 ผลการวิเคราะห์อิทธิพลจากปริมาณสาหร่ายไส้ไก่ที่แตกต่างกันต่อปริมาณแพลงก์ตอนสัตว์และสัตว์พื้นใต้น้ำ และอิทธิพลร่วมของสาหร่ายไส้ไก่และเวลา

ปัจจัยที่ศึกษา		ผลของอิทธิพลจากตัวแปรต่อปัจจัยที่ศึกษา					
		สาหร่ายไส้ไก่		เวลา		สาหร่ายไส้ไก่*เวลา	
กลุ่ม	ชื่อ	ค่า F	นัยสำคัญ	ค่า F	นัยสำคัญ	ค่า F	นัยสำคัญ
สัตว์พื้นใต้น้ำ	หนอนแดงหน้าดิน	7.22	0.03*	57.87	<0.01**	3.89	<0.01**
	หนอนแดงในสาหร่าย	7.76	0.02*	14.34	<0.01**	7.29	<0.01**
	หนอนแดงทั้งหมด	2.42	0.17	36.85	<0.01**	5.34	<0.01**
แพลงก์ตอนสัตว์	แพลงก์ตอนสัตว์รวมในน้ำ	1.09	0.40	10.98	<0.01**	1.38	0.22
	แพลงก์ตอนสัตว์รวมในสาหร่าย	29.12	<0.01**	17.63	<0.01**	12.45	<0.01**
	แพลงก์ตอนสัตว์ทั้งหมด	24.61	<0.01**	19.47	<0.01**	12.73	<0.01**
	โคพิพอดในน้ำ	5.35	0.05*	9.05	<0.01**	1.60	0.14
	โคพิพอดในสาหร่าย	24.58	<0.01**	25.76	<0.01**	17.23	<0.01**
	โคพิพอดทั้งหมด	23.96	<0.01**	24.63	<0.01**	16.05	<0.01**
	แพลงก์ตอนสัตว์อื่นๆในน้ำ	0.43	0.67	3.15	0.01**	0.63	0.81
	แพลงก์ตอนสัตว์อื่นๆในสาหร่าย	2.23	0.19	1.87	0.11	1.73	0.10
	แพลงก์ตอนสัตว์อื่นๆทั้งหมด	2.32	0.18	1.80	0.13	1.72	0.10
	สาหร่ายไส้ไก่	10.92	0.01**	16.6	<0.01**	6.27	0.03*
	ตัวอ่อนยุงในน้ำ	1.53	0.29	135.45	<0.01**	0.76	0.68
	ตัวอ่อนยุงในสาหร่าย	35.84	<0.01**	62.95	<0.01**	4.05	<0.01**
	ตัวอ่อนยุงทั้งหมด	1.40	0.31	160.71	<0.01**	0.87	0.58

ตารางที่ 4-4 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสาหร่ายไส้ไก่กับแพลงก์ตอนสัตว์และสัตว์พื้นใต้น้ำ

ตัวแปรที่ศึกษา	ผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์						
	ตัวแปรอิสระ	ค่า	VIF	partial R^2	R^2	F	Sig. level
หนอนแดง	ค่าคงที่	94268.9					
	สาหร่ายไส้ไก่	20.1	1.17	0.53	0.72	34.37	<0.01
แพลงก์ตอนสัตว์รวม	ค่าคงที่	-217.56					
	สาหร่ายไส้ไก่	6.60	1.0	0.56	0.56	54.83	<0.01
โคพิพอด	ค่าคงที่	-331.78					
	สาหร่ายไส้ไก่	0.71	1.0	0.54	0.54	51.23	<0.01
แพลงก์ตอนสัตว์	ค่าคงที่	-375.37					
	สาหร่ายไส้ไก่	1.38	1.0	0.32	0.32	20.56	<0.01

VIF = ค่า variance of inflation

วิจารณ์ผลการทดลอง

เมื่อเตรียมดินเลนเป็นเวลา 2 สัปดาห์แล้วปลูกสาหร่าย 2 ระดับ พบว่า ระดับสาหร่าย 56 ก./ตร.ม. มีการเติบโตมากกว่า 28 ก./ตร.ม. แสดงให้เห็นว่าสารอาหารที่ถูกปล่อยออกมามีปริมาณเพียงพอในการทำให้สาหร่ายเติบโตเพิ่มปริมาณได้มากถึง 40 เท่า ภายในเวลา 3 สัปดาห์

ในการเลี้ยงกุ้งเกษตรกรนิยมเตรียมน้ำเพื่อทำให้เกิดสีน้ำซึ่งเป็นสีของแพลงก์ตอนพืช โดยบทบาทหลักของแพลงก์ตอนพืชในบ่อเลี้ยงกุ้งคือดูดซับสารอาหารที่ปล่อยออกมาจากดิน เช่น แอมโมเนีย ไนเตรท และฟอสเฟต (Burford and Lorenzen, 2004) รวมถึงการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์และผลิตออกซิเจนจากกระบวนการสังเคราะห์แสง ในการศึกษาครั้งนี้พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ จากแพลงก์ตอนพืชในชุดการทดลอง T1 ที่ไม่มีสาหร่าย อยู่ในช่วง 10.6 - 41.4 มคก. ต่อ ล. เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ รวม ในการทดลองที่มีสาหร่ายไส้ไก่มีค่าระหว่าง 325.6 – 8,846.9 มคก. ต่อ ล. ซึ่งคลอโรฟิลล์ เอ เป็นรงควัตถุสังเคราะห์แสงขั้นต้นสามารถดูดแสงมาใช้ในการสังเคราะห์แสงได้ด้วยตัวเอง (กาญจนภาชน์, 2527) การที่มีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ มากขึ้นทำให้ปริมาณการสังเคราะห์แสงเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากระดับคลอโรฟิลล์ เอ ในสาหร่าย : แพลงก์ตอนพืช เมื่อวันที่ 28 ใน T3 ที่เพิ่มขึ้นถึง 656 เท่า ทำให้มีการสังเคราะห์แสงที่มากขึ้น และผลที่จะเกิดกับระบบนิเวศ คือ เพิ่มออกซิเจน และลดแอมโมเนียได้มากขึ้น ซึ่งลักษณะเช่นนี้ทำให้เกิดสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมกับการเลี้ยงกุ้ง โดย Fong และคณะ (1996) รายงานว่าสาหร่ายสามารถดึงไนโตรเจนในน้ำในรูปของแอมโมเนียมาใช้ในการเจริญเติบโตได้ดีกว่าการดึงธาตุอาหารไนโตรเจนในรูปอื่น ๆ นอกจากนี้ อลิสา (2543) รายงานว่า ปริมาณไนเตรทที่เข้มข้นกว่าแอมโมเนียไม่มีผลยับยั้งการดูดซับแอมโมเนียของสาหร่าย *Caulerpa lentillifera* ทั้งนี้เนื่องจากสาหร่ายและพืชทั่วไปสามารถนำแอมโมเนียมเข้าสู่เซลล์ได้โดยตรง

การเปลี่ยนแปลงระบบนิเวศของบ่อจำลองเลี้ยงกุ้งขนาดเล็กที่ปลูกสาหร่ายในปริมาณต่าง ๆ กัน การศึกษาครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่า ปัจจัยเวลามีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรที่มีชีวิต ชี้ให้เห็นว่าในการเตรียมบ่อเลี้ยงกุ้งเกษตรกรควรให้ความสำคัญต่อระยะเวลาที่ใช้ในการเตรียมระบบนิเวศของบ่อให้เหมาะสมต่อการเลี้ยงกุ้ง ซึ่งในวิธีการเตรียมบ่อโดยทั่วไป แพลงก์ตอนพืช และจุลินทรีย์ เป็นตัวแปรมีชีวิตกลุ่มหลักที่ แสดงบทบาทในระบบนิเวศบ่อเลี้ยงกุ้ง (Burford and Lorenzen, 2004) ผลจากการศึกษาครั้งนี้ ชี้ให้เห็นว่า สาหร่ายไส้ไก่สามารถแสดงบทบาทที่เชื่อมโยงกับการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรมีชีวิตอื่นๆ ในในระบบนิเวศบ่อเลี้ยงกุ้ง ที่อยู่ในห่วงโซ่อาหารของกุ้ง เช่น แพลงก์ตอนสัตว์ สัตว์พื้นใต้น้ำ detritus food chain รวมถึงตัวอ่อนยุง หนอนแดงที่เกิดจากการวางไข่ของแมลง

อย่างไรก็ตาม การเพิ่มขึ้นของปริมาณสาหร่ายไส้ไก่มีนัยสำคัญทางสถิติกับแพลงก์ตอนสัตว์และสัตว์พื้นใต้น้ำเกือบทุกชนิดที่พบ เช่น หนอนแดงในสาหร่าย โคพิพอดในสาหร่าย โคพิพอดทั้งหมด แพลงก์ตอนสัตว์รวมในสาหร่าย แพลงก์ตอนสัตว์ทั้งหมด และตัวอ่อนยุงในสาหร่าย เป็นต้น (ตารางที่ 4-3) ซึ่งสาหร่ายไส้ไก่อาจเป็นที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิตที่เกิดขึ้นในระบบนิเวศนั้นด้วย ดังจะเห็นได้จากปริมาณของหนอนแดง ฮาร์แพ็คทิคอยด์โคพิพอด ตัวอ่อนโคพิพอด และตัวอ่อนยุง ที่อยู่ในสาหร่าย เช่นเดียวกับการศึกษาของ McAllen (1999) ซึ่งพบว่า สาหร่ายไส้ไก่มีบทบาทต่อการดำรงชีวิตของสัตว์ในการเป็นที่อยู่หรือที่หลบซ่อนให้กับสัตว์ในเวลาที่ rockpool แห้ง โดยพบฮาร์แพ็คทิคอยด์โคพิพอด (*T. brevicornis*) จำนวน 200-300 ตัวในสาหร่ายไส้ไก่เพียงสายเดียว ซึ่งเป็นเหตุผลที่สัตว์เหล่านี้สามารถอาศัยอยู่ในเขต supra-littoral rock pool ที่แห้งเป็นเวลา 2-3 สัปดาห์ และเป็นที่น่าสังเกตว่าในการทดลองครั้งนี้ก็พบ ฮาร์แพ็คทิคอยด์โคพิพอดเป็นจำนวนมากในสาหร่ายไส้ไก่ ทำให้ปริมาณโคพิพอดรวมในบ่อทดลองที่มีสาหร่ายไส้ไก่สูงกว่าในบ่อที่ไม่มีสาหร่ายไส้ไก่อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ทั้งนี้เนื่องจากฮาร์แพ็คทิคอยด์โคพิพอดเป็นโคพิพอดที่มีพฤติกรรมการดำรงชีวิตแบบอิงอาศัยอยู่กับพืช (Wilson and Yeatman, 1959 อ้างโดย ลัดดา, 2541) ดังนั้นการที่มีสาหร่ายอยู่ในระบบนิเวศทำให้มีที่อยู่อาศัยที่เหมาะสมสำหรับโคพิพอดในกลุ่มนี้ ส่งผลให้สามารถขยายพันธุ์เพิ่มปริมาณได้มากตามปริมาณสาหร่ายในบ่อ บทบาทเหล่านี้ส่งเสริมให้บริเวณที่มีสาหร่ายไส้ไก่อุดมสมบูรณ์ไปด้วยอาหารธรรมชาติ ที่เหมาะสมสำหรับการดำรงชีวิตและการเติบโตอย่างรวดเร็วของลูกกุ้ง

Primavera และ Lebata (1995) กล่าวว่า กุ้งในสกุล Penaeid หลายชนิดมีที่อยู่อาศัยที่เป็นแหล่งอนุบาลเฉพาะ เช่น บริเวณที่มีสาหร่ายขนาดใหญ่หรือมีสาหร่ายทะเล โดยพบว่ากุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) ขนาดเล็กจะอาศัยอยู่ในบริเวณหญ้าทะเลหรือป่าชายเลนซึ่งเป็นที่อยู่อาศัยที่ปลอดภัย นอกจากนี้ Tsutsui และคณะ (2010) รายงานว่ากุ้งกุลาดำวัยอ่อน (early age juveniles) ที่เลี้ยงร่วมกับสาหร่าย *Chaetomorpha ligustica* มีการเจริญเติบโตดีกว่ากุ้งที่เลี้ยงโดยไม่มีสาหร่าย ซึ่ง Moriarty (1997) รายงานว่า ระบบนิเวศมีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ภายในระบบ แบบพึ่งพาอาศัยกัน สิ่งมีชีวิตที่เพาะเลี้ยงไม่ว่ากุ้งหรือปลาจึงมีความสัมพันธ์กับสิ่งมีชีวิตเล็กๆ เช่น จุลินทรีย์ แพลงก์ตอนพืช แพลงก์ตอนสัตว์ และสัตว์พื้นใต้น้ำ ทั้งทางตรงและทางอ้อม การจัดการให้มีสิ่งมีชีวิตเล็กๆ ในสายใยอาหาร (food web) ให้เกิดขึ้นในบ่อเลี้ยงกุ้งจึงมีความจำเป็นในด้านอาหารธรรมชาติของลูกกุ้งแรกปล่อย การหมุนเวียนแร่ธาตุอาหาร และรักษาสมดุลของระบบนิเวศ เพื่อให้สามารถผลิตกุ้งได้อย่างเหมาะสม ดังนั้นผลการศึกษาครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่า ระบบนิเวศที่มีสาหร่ายไส้ไก่มีศักยภาพในการเป็นที่อยู่อาศัยและหลบซ่อนตัวของสิ่งมีชีวิตที่เป็นอาหารธรรมชาติที่เหมาะสมสำหรับลูกกุ้งวัยอ่อน

สรุปผลการทดลอง

ผลจากการศึกษาครั้งนี้สามารถสรุปได้ดังนี้

1. การปลูกสาหร่ายไส้ไก่ในบ่อทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ สูงกว่าบ่อที่ไม่มีสาหร่ายไส้ไก่ และในบริเวณที่มีสาหร่ายไส้ไก่เติบโตอยู่มีสิ่งมีชีวิตพวก ตัวอ่อนริ้นน้ำจืด ตัวอ่อนยุง ตัวอ่อนโคพิพอด และโคพิพอด โดยเฉพาะโคพิพอดกลุ่มฮาร์แพ็คทิคอยด์ ในปริมาณมาก ซึ่งสิ่งมีชีวิตเหล่านี้เป็นอาหารธรรมชาติที่เหมาะสมกับการเติบโตของลูกกุ้งวัยอ่อน จึงทำให้บริเวณดังกล่าวมีปริมาณของอาหารธรรมชาติมากกว่าในระบบที่ไม่มีสาหร่ายไส้ไก่

2. ผลการศึกษาครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่าในบ่อเลี้ยงกุ้งที่มีการปลูกสาหร่ายไส้ไก่มีผลในการเปลี่ยนแปลงตัวแปรมีชีวิต สร้างอาหารธรรมชาติให้มากขึ้น ซึ่งเหมาะสมต่อการเป็นที่อยู่อาศัยและแหล่งหากินของลูกกุ้งที่ปล่อยลงเลี้ยงในบ่อ

บทที่ 5

การเติบโตและองค์ประกอบในกระเพาะอาหารของกุ้งกุลาดำ ที่เลี้ยงในสภาวะที่มีอาหารแตกต่างกัน

บทคัดย่อ

การศึกษาการเติบโตและองค์ประกอบในกระเพาะอาหารของกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงในสภาวะที่มีอาหารแตกต่างกัน 3 รูปแบบ คือ เลี้ยงโดยไม่ให้อาหารสำเร็จรูป (T1), เลี้ยงโดยให้อาหารสำเร็จรูป (T2) และเลี้ยงโดยไม่ให้อาหารสำเร็จรูปแต่ปลูกสาหร่ายไส้ไก่ (T3) ได้ดำเนินการในบ่อน้ำกร่อยจำลองขนาดเล็กที่ใช้ดินเลนจากบ่อเลี้ยงกุ้งและเติมน้ำความเค็ม 16 ส่วนในพัน ปริมาตร 125 ลิตร (ลดความลึกของน้ำในการเตรียมบ่อเหลือ 5 ซม.) เตรียมบ่อทุกบ่อโดยการคราดดินเลนเพื่อเพิ่มออกซิเจนหน้าดินและให้สารอาหารในดินเลนละลายออกมาในน้ำสัปดาห์ละ 1 ครั้ง เป็นเวลา 2 สัปดาห์ และเฉพาะในบ่อชุด T3 ปลูกสาหร่ายไส้ไก่ความหนาแน่น 27 กรัม/ตร.ม. เป็นเวลา 2 สัปดาห์ แล้วจึงปล่อยกุ้งกุลาดำระยะโพสต์ลาร์วา 20 น้ำหนักเฉลี่ย 0.013 กรัม/ตัว ในความหนาแน่น 53 ตัว/ตร.ม. ลงเลี้ยงในทุกชุดการทดลองเป็นเวลา 5 สัปดาห์ ผลการศึกษาพบว่าเมื่อเลี้ยงกุ้งเป็นเวลา 4 สัปดาห์ อัตราการเติบโตเฉลี่ยของกุ้งในชุด T1 เริ่มต่ำกว่าใน T2 และ T3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในขณะที่อัตราการเติบโตใน T2 และ T3 แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ผลการศึกษาในกระเพาะอาหารของกุ้งทุกชุดการทดลอง พบชิ้นส่วนสาหร่ายไส้ไก่ (เฉพาะใน T3), plants debris, *Microcystis* sp., copepod, ตัวอ่อนแมลง (ตัวอ่อนยุง, หนอนแดง), ไดอะตอมหน้าดิน (*Pleurosigma* sp., *Navicula* spp.), โรติเฟอร์ (*Brachionus* sp., *Colurella* sp.), โปรโตซัว (*Zoothamnium* sp.), ซากเน่าเปื่อย/อาหารสำเร็จรูป และ unknown egg โดยในกระเพาะอาหารของกุ้งกุลาดำในทุกชุดการทดลองพบว่าโคพิพอดมีความถี่ของการพบ (frequency of occurrence) สูงสุดมากกว่า 90% สัมพันธ์กับปริมาณโคพิพอดที่มีมากและพบได้ตลอดการทดลอง สำหรับองค์ประกอบในกระเพาะอาหารของกุ้ง (numerical composition) ใน T1 พบซากเน่าเปื่อยมากที่สุด (34.5±19.9%) กุ้งใน T2 พบโคพิพอดมากที่สุด (33.4 ± 22.9%) และกุ้งใน T3 พบ *Navicula* spp. มากที่สุด (41.3 ±19.9%) และผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์พบว่าการเติบโตของกุ้งมีความสัมพันธ์กับปริมาณหนอนแดงมากที่สุด (partial R^2 = 0.43) แม้ว่าจะพบในกระเพาะอาหารน้อยก็ตาม ผลการศึกษาครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่า เมื่อปล่อยกุ้งกุลาดำลงเลี้ยงที่ความหนาแน่น 53 ตัว/ตร.ม. โดยมีการเตรียมบ่อด้วยวิธี

คราดดินและใช้ระดับน้ำต่ำสามารถสร้างอาหารธรรมชาติรองรับการเติบโตของลูกกุ้งกุลาดำได้เป็นเวลา 2 สัปดาห์โดยไม่ต้องให้อาหารและกุ้งที่เลี้ยงในบ่อแสดงพฤติกรรมการกินอาหารบริเวณหน้าดินเป็นหลัก ในขณะที่ปลูกสาหร่ายไส้ไก่สามารถสร้างอาหารธรรมชาติเพิ่มขึ้นรองรับการเติบโตของกุ้งได้นานถึง 4 สัปดาห์ และกุ้งที่เลี้ยงในบ่อแสดงพฤติกรรมการหากินบริเวณกลางน้ำ ทำให้ระบบนิเวศที่มีสาหร่ายไส้ไก่เป็นแหล่งหากินที่เหมาะสมและช่วยสนับสนุนการเติบโตของลูกกุ้งที่ปล่อยลงเลี้ยงในบ่อได้ดีไม่แตกต่างจากการให้อาหารสำเร็จรูป

Growth and stomach content of black tiger prawn (*Penaeus monodon*) cultivated under difference feeding regimes

Abstract

The study of growth and stomach content of black tiger shrimp (*Penaeus monodon*) cultivated under 3 feeding regimes; no pelleted feed (T1), with commercial pellet feed (T2) and no pellet feed+gutweed plantation (T3), was conducted in brackish water microcosms of which the sludge from shrimp pond and 125 liters (lowering of water level to the depth of 5 cm) of brackish water at 16 ppt were added into the microcosms. The sludge was raked once a week for two weeks in order to increase oxygen transfer and nutrient release from sludge. Gutweed was grown in the T3 microcosms at density of 27 g/m^2 for two weeks, then, black tiger prawn postlarva (PL20; average weight 0.013 g/PL) were stocked into each microcosm at a density of 53 PL/m^2 and cultivated for 5 weeks. Result from the study showed that the growth of shrimp in T1 at the end of 4th week cultivation was significantly lower than that of T2 and T3 ($p<0.05$) while there was no significant difference ($p>0.05$) between growth in T2 and T3. The result of stomach content of shrimps from all treatments showed that it consisted of gutweed (only in T3), plants debris, *Microcystis* sp., copepod, insect larvae (mosquito larvae, chironomid larvae), benthic diatom (*Pleurosigma* sp., *Navicula* spp.), rotifer (*Brachionus* sp., *Colurella* sp.), protozoa (*Zoothamnium* sp.), detritus/pellet and unknown egg. Copepod showed the highest frequency of occurrence (>90%) in all treatments relating to it's density and availability throughout the study period. The highest in numerical composition of the contents in shrimp stomachs were detritus (34.5±19.9%) in T1, copepod (33.4 ± 22.9%) in T2 and *Navicula* spp. (41.3±19.9%) in T3. The result from multiple regression analysis showed that shrimp growth was significantly related to the amount of chironomid larvae in the microcosms (partial $R^2 = 0.43$) although it was seldom found in shrimp stomach. The result from this study indicate that when shrimp was stocked at the level of 53 individual/m^2, the method of pond preparation by raking of the bottom sediment and lowering of water level could promote the natural foods to support shrimp growth for 2 weeks without feeding any pelleted feed and shrimp mainly showed a behavior of benthic scavenger. The plantation of gutweed provided additionally more natural foods to prolonging support shrimp

growth for 4 weeks and shrimp mainly showed a behavior of water column scavenger resulting in an ecosystem suitably for habitat and promotion of good growth equitably to the feeding of commercial pellet.

บทนำ

การศึกษาพฤติกรรมการกินอาหารและองค์ประกอบอาหารในกระเพาะอาหารกุ้งเป็นฐานของความรู้ในการประยุกต์ใช้หลักการของระบบนิเวศร่วมกับการเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนา Dall (1968) ได้รายงานผลศึกษาอาหารและการกินอาหารของกุ้งครอบครัว Penaeidae จำนวน 5 ชนิด ที่มีการอาศัยแพร่กระจายอยู่ในแหล่งน้ำธรรมชาติชายฝั่งออสเตรเลีย ว่า กุ้งเหล่านี้มีพฤติกรรมการกินอาหารแบบกินซากเน่าเปื่อย (detritus feeders) หรือกินทั้งพืชและสัตว์ (omnivorous scavengers) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาในครอบครัว Penaeidae ชนิด *Metapenaeus monoceros* (George, 1974; Subrahmanyam, 1973;Rao, 1988), รวมถึงกุ้ง North-American penaeid ได้แก่ *P. setiferus*, *P. azetecus* และ *P. duorarum* (Williams, 1955;Eldred *et al*., 1961) และกุ้งสกุล Penaeus (Nandakumar and Damodaran, 1998) ซึ่งจากรายงานทั้งหมด สรุปได้ว่ากุ้งเหล่านี้มีพฤติกรรมการกินอาหารในธรรมชาติ แบบกินทั้งพืชและสัตว์ และกินซากเน่าเปื่อย เช่นเดียวกัน

กุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) เป็นกุ้งครอบครัว Penaeidae ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย มีความสามารถในการปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมในเขตร้อนได้ดี และชนิดของอาหารที่กินในธรรมชาติขึ้นอยู่กับฤดูกาลและความหลากหลายของอาหารที่มีอยู่ในแหล่งที่อยู่อาศัย (Kuttyama, 1974;Motoh, 1981) สำหรับกุ้งกุลาดำที่อยู่ในแหล่งเพาะเลี้ยง Moorthy และ Altaff (2002) ได้รายงานผลการศึกษาองค์ประกอบของอาหารในกระเพาะของกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงในบ่อที่ดัดแปลงจากบ่อเลี้ยงกุ้งแบบดั้งเดิม (modified extensive shrimp pond) ในประเทศอินเดียว่ามีองค์ประกอบของ sand grains แพลงก์ตอนสัตว์ชนิดต่างๆ รวมทั้งอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่ให้เสริมและอาหารประเภทอื่นๆ ที่จำแนกไม่ได้ และได้สรุปว่า อาหารธรรมชาติจะมีบทบาทต่อการเจริญเติบโตของลูกกุ้งในช่วงเริ่มต้นของการปล่อยลงเลี้ยง

สำหรับประเทศไทยในปัจจุบันการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาได้พยายามนำเอาแนวคิดของการใช้อาหารธรรมชาติมาประยุกต์ใช้เพื่อฟื้นฟูการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ เช่น การปลูกสาหร่ายไส้ไก่สร้างระบบนิเวศและสร้างอาหารธรรมชาติในช่วงเริ่มต้นของการเลี้ยงกุ้ง ซึ่งในระบบนี้ได้มีการศึกษาโดยจริยาวดี และคณะ (2551) และได้รายงานถึงผลการศึกษาปริมาณสัตว์หน้าดินที่เกิดขึ้นในบ่อเลี้ยงที่มีสาหร่ายไส้ไก่ของสุรีรัตน์ฟาร์ม พบว่าในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่มีสาหร่ายไส้ไก่มีปริมาณสัตว์หน้าดินมากกว่าในบ่อที่ไม่มีสาหร่ายไส้ไก่ และปริมาณของสัตว์หน้าดินที่พบอาจเป็นปัจจัยที่ทำให้บ่อที่มีสาหร่ายไส้ไก่มีผลผลิตสูงกว่ากว่าบ่อที่ไม่มีสาหร่ายไส้ไก่ แต่ผลการสรุปนี้ยังไม่มีการยืนยันจากการศึกษาองค์ประกอบของอาหารที่พบในกระเพาะอาหารของกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงว่าชนิดของอาหารธรรมชาติเหล่านั้นมีความสัมพันธ์กับการเติบโตของกุ้งอย่างไร ซึ่งในการที่นำหลักการสร้าง

อาหารธรรมชาติด้วยระบบนิเวศของสาหร่ายไส้ไก่มาประยุกต์ใช้ร่วมกับการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ จำเป็นต้องศึกษาถึงองค์ประกอบทั้งชนิดและปริมาณอาหารที่พบในบ่อเลี้ยงและในกระเพาะอาหารของกุ้งกุลาดำ ทำให้สามารถเข้าใจลักษณะห่วงโซ่อาหารและบทบาทของสาหร่ายไส้ไก่ที่เกิดขึ้นภายในบ่อได้มากขึ้น และนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการจัดการบ่อเลี้ยงเพื่อให้สามารถเลี้ยงกุ้งกุลาดำได้อย่างยั่งยืนต่อไป

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาอัตราการเติบโตและองค์ประกอบเชิงปริมาณและคุณภาพของอาหารในกระเพาะอาหารของกุ้งกุลาดำวัยรุ่นที่เลี้ยงด้วยการให้อาหาร 3 รูปแบบ คือ ไม่ให้อาหารสำเร็จรูป, ให้อาหารเม็ดสำเร็จรูป และให้อาหารธรรมชาติที่สร้างโดยระบบการปลูกสาหร่ายไส้ไก่ รวมทั้งศึกษาความสัมพันธ์ของสภาวะของระบบนิเวศที่มีอาหาร 3 รูปแบบต่อการกินอาหารและการเติบโตของกุ้งกุลาดำ

อุปกรณ์และวิธีการ

1. สถานที่และการเตรียมบ่อทดลอง

ทำการศึกษาที่สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง โดยใช้บ่อทดลองกลางแจ้งขนาดกว้าง 1.5 เมตร ยาว 1.5 เมตร สูง 0.7 เมตร จำนวน 3 บ่อ สร้างจากการวางซ้อนถุงทรายเป็นคันบ่อและปูพื้นด้วยแผ่นพลาสติกใส จำลองให้มีระบบนิเวศคล้ายคลึงกับบ่อดินเลี้ยงกุ้งโดยนำดินเลนจากบริเวณกลางบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำจากดำรงฟาร์มในอำเภอเทพา จังหวัดสงขลา มาทำให้เป็นเนื้อเดียวกันแล้วตวงใส่ตรงกลางบ่อทดลองเท่ากันทุกบ่อ พื้นที่ 1 ตารางเมตร ความสูงของดิน 0.1 เมตร แล้วเติมน้ำทะเลความเค็ม 16 ส่วนในพันส่วน ครั้งแรกลงในบ่อๆ ละ 125 ลิตร หลังจากนั้นจึงคราดดินด้วยส้อมพรวนดินเพื่อเพิ่มออกซิเจนหน้าดิน (Boyd *et al*., 2002) และให้สารอาหารในดินเลนละลายออกมาในน้ำ แล้วปล่อยไว้เป็นเวลา 1 สัปดาห์ แล้วจึงทำการคราดดินซ้ำอีกครั้งด้วยวิธีการเดิมและปล่อยไว้ต่อไปอีก 1 สัปดาห์

2. การวางแผนการทดลอง

การทดลองครั้งนี้วางแผนการทดลองแบบที่มีการวัดซ้ำ (Repeated measurement experiment) (Field, 2008) แบ่งการทดลองตามรูปแบบการให้อาหารออกเป็น 3 ชุดการทดลอง ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 เลี้ยงกุ้งโดยไม่ให้อาหารสำเร็จรูป

ชุดการทดลองที่ 2 เลี้ยงกุ้งโดยให้อาหารเม็ดสำเร็จรูป

ชุดการทดลองที่ 3 เลี้ยงกุ้งไม่ให้อาหารสำเร็จรูปแต่ปลูกสาหร่ายไส้ไก่

หลังจากเตรียมดินจนครบ 2 สัปดาห์แล้วจึงเริ่มปลูกสาหร่ายไส้ไก่ในชุดการทดลองที่ 3 ปริมาณบ่อละ 60 กรัม (27 ก./ตร.ม.) หลังจากปลูกสาหร่ายไส้ไก่เป็นเวลา 2 สัปดาห์แล้ว จึงปล่อยลูกกุ้งกุลาดำระยะโพสต์ลาร์วา (Postlarva) 20 น้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 0.013 กรัม/ตัว ลงเลี้ยงในบ่อทดลองทุกบ่อ ๆ ละ120 ตัว คิดเป็นความหนาแน่นประมาณ 85,000 ตัว/ไร่ (53 ตัว/ตร.ม.)ในชุดการทดลองที่ 1 และ 3 เลี้ยงโดยไม่ให้อาหารเม็ดสำเร็จรูป ชุดการทดลองที่ 2 ให้อาหารเม็ดสำเร็จรูปยี่ห้อ สตาร์ฟีด เบอร์ 2 ปริมาณ 1,000 กรัมต่อกุ้ง 100,000 ตัวต่อวันในเวลา 07.00, 11.00, 15.00 และ 19.00 น. (ดัดแปลงจากวิธีการของดำรงฟาร์ม)

3. การศึกษาการเติบโตของกุ้ง

วัดการเติบโตของกุ้งสัปดาห์ละ 1 ครั้ง โดยสุ่มลูกกุ้งบ่อละ 10 ตัว มาชั่งน้ำหนักแล้วคำนวณอัตราการเติบโตจากสูตร

$$ADG = \frac{WS_t - WS_{t-1}}{t}$$

เมื่อ ADG = อัตราการเติบโตเฉลี่ยของกุ้งต่อวัน (ก./วัน), WS_t = น้ำหนักเฉลี่ยของกุ้งในสัปดาห์ t (ก.), WS_{t-1} = น้ำหนักเฉลี่ยของกุ้งในสัปดาห์ที่ผ่านมา t-1 (ก.) และ t = ระยะเวลาเลี้ยงใน 1 สัปดาห์ (7 วัน)

4. ปริมาณสิ่งมีชีวิตที่พบในน้ำและหน้าดิน

สิ่งมีชีวิตที่พบในน้ำ

เก็บตัวอย่างแพลงก์ตอนสัปดาห์ละ 1 ครั้ง โดยตักน้ำในบ่อทดลองบ่อละ 4 ลิตร กรองผ่านกรวยกรองขนาดตา 22 ไมครอน เก็บรักษาตัวอย่างในสารละลายฟอร์มาลีน 10% นับจำนวนแพลงก์ตอนสัตว์ที่จำแนกกลุ่มแล้วตามหนังสือแพลงก์ตอนสัตว์ (ลัดดา, 2541) หนังสือ Illustration of the Marine Plankton of Japan (Yamaji, 1979) หนังสือ Introduction to the Common

Marine Zooplankton of Peninsular Malaysia (Arvin, 1977) และหนังสือ Entomology (Gillott, 1995) และนับจำนวนไดอะตอมสกุล *Navicula* และ *Pleurosigma* ที่จำแนกกลุ่มแล้วตามหนังสือแพลงก์ตอนพืช (ลัดดา, 2542) และนับจำนวนของแพลงก์ตอนทั้งหมดแล้วคำนวณปริมาณในหน่วยตัว/ลิตรและเซลล์/ลิตรตามลำดับ

เก็บตัวอย่างสิ่งมีชีวิตที่อยู่ร่วมกับสาหร่ายไส้ไก่ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ (เกาะติดที่ผิวหรือเข้าไปอยู่ในกอสาหร่าย) สัปดาห์ละ 1 ครั้ง โดยเก็บตัวอย่างสาหร่ายในบ่อทดลองจากบริเวณผิวและกลางน้ำ และบริเวณเหนือดินเลน รวมประมาณ 3 ก. นำมาแยกสิ่งมีชีวิตที่พบแล้วเก็บรักษาในสารละลายฟอร์มาลีน 10% นำตัวอย่างสาหร่ายมาซับน้ำให้แห้งแล้วชั่งน้ำหนักสด สำหรับตัวอย่างสิ่งมีชีวิตที่เก็บรักษาไว้นำไปจำแนกชนิดและนับปริมาณผ่านกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 20-100 เท่า คำนวณความหนาแน่นของสิ่งมีชีวิตเฉลี่ยต่อปริมาตรน้ำ (เฉพาะแพลงก์ตอนสัตว์ที่เข้าไปอยู่ร่วมกับสาหร่าย) หรือต่อพื้นที่ (เฉพาะสัตว์หน้าดินที่เข้าไปอยู่ร่วมกับสาหร่าย) ในบ่อเลี้ยง ตามลำดับดังนี้

$$ZooW = \frac{ZooWs \times W}{Ws \times V} \quad , \quad BenW = \frac{BenWs \times W}{Ws \times A}$$

เมื่อ ZooW และ BenW = ปริมาณแพลงก์ตอนสัตว์ (ตัว/ล.) และ สัตว์พื้นใต้น้ำ (ตัว/ตร.ม.) ที่เข้าไปอาศัยอยู่กับสาหร่ายไส้ไก่ทั้งบ่อ ส่วน ZooWs และ BenWs = ปริมาณแพลงก์ตอนสัตว์ และสัตว์พื้นใต้น้ำที่เข้าไปอาศัยกับสาหร่ายไส้ไก่ที่สุ่มตัวอย่างออกมา (ตัว/ก.) W = น้ำหนักสาหร่ายทั้งหมดในบ่อทดลอง (ก.) Ws= น้ำหนักสาหร่ายที่เก็บตัวอย่าง (ก.) V และ A= ปริมาตรน้ำ (ล.) และพื้นที่ (ตร.ม.) ทั้งหมดของบ่อทดลอง ตามลำดับ

สาหร่ายไส้ไก่

วัดการเติบโตของสาหร่ายไส้ไก่สัปดาห์ละ 1 ครั้ง เพื่อใช้ในการคำนวณปริมาณสิ่งมีชีวิตทั้งหมดที่อยู่ในสาหร่าย โดยเมื่อเริ่มต้นในแต่ละสัปดาห์แบ่งสาหร่ายในบ่อทดลองที่มีสาหร่ายใส่ตะกร้าพลาสติกบ่อละ 3 ตะกร้าๆ ละ 3 ก. ผูกให้ลอยอยู่ที่ผิวน้ำเมื่อครบ 1 สัปดาห์ ชั่งน้ำหนักของสาหร่ายที่เพิ่มขึ้นในตะกร้า แล้วคำนวณการเติบโตของสาหร่ายทั้งบ่อ จากสูตร

$$WG = \frac{\frac{WP_0 \times WS_t}{WS_0} - WP_0}{t}$$

เมื่อ WG = การเติบโตของสาหร่ายในบ่อทดลอง (ก./วัน) WP_0=น้ำหนักสาหร่ายเริ่มต้นในบ่อทดลอง (ก.) WS_0= น้ำหนักสาหร่ายเริ่มต้นในตะกร้า (ก.) WS_t= น้ำหนักสาหร่ายในตะกร้าที่เวลา t (ก.) t = จำนวนวันในแต่ละหนึ่งสัปดาห์ที่ศึกษาการเติบโต (7 วัน)

สิ่งมีชีวิตที่พบที่หน้าดิน

เก็บตัวอย่างสัตว์พื้นใต้น้ำสัปดาห์ละ 1 ครั้ง โดยใช้กล่องพลาสติกขนาด 15 x 15 เซนติเมตร (พื้นที่ 0.0225 ตร.ม.) ที่เจาะรูที่ก้นกล่อง ครอบลงบนหน้าดินที่ต้องการเก็บจากนั้นนำแผ่นอะคริลิคสอดลงไปใต้กล่องเพื่อยกดินที่อยู่ในกล่องขึ้นมา แล้วนำดินมาร่อนด้วยตะแกรงร่อนขนาดตา 420 ไมครอนเก็บตัวอย่างสัตว์พื้นใต้น้ำที่พบอยู่บนตะแกรงทั้งหมดรักษาไว้ในสารละลายฟอร์มาลีน 10% นับจำนวนสัตว์พื้นใต้น้ำที่จำแนกกลุ่มแล้วตามหนังสือ Entomology (Gillott, 1995) และหนังสือ The Insects: An Outline of Entomology (Gullan and Cranston, 2005)

เก็บตัวอย่างไดอะตอมหน้าดิน (benthic diatom) สกุล *Navicula* และ *Pleurosigma* โดยใช้ท่อพลาสติกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.9 ซม. สุ่มเก็บหน้าดินจากดินตัวอย่างที่ศึกษาสัตว์พื้นใต้น้ำ จำนวน 3 จุด นำมาใส่ในขวดพลาสติก เติมฟอร์มาลีน 10 % จนท่วมดินเพื่อดองสิ่งมีชีวิตที่อยู่หน้าดิน จากนั้นนำตัวอย่างดินดังกล่าวไปล้างด้วยน้ำประปาและเทส่วนที่เป็นน้ำกรองผ่านถุงกรองแพลงก์ตอนขนาดตา 22 ไมครอน ล้างตัวอย่างในถุงกรองหลายๆ ครั้ง (ในกรณีพบตัวอย่างสัตว์พื้นใต้น้ำขนาดใหญ่ในถุงกรอง เก็บตัวอย่างนำไปรวมกับตัวอย่างสัตว์พื้นใต้น้ำจากตัวอย่างดินชุดเดียวกัน) แล้วจึงนำตัวอย่างที่เหลือในถุงกรองเทใส่ขวดพลาสติกเก็บรักษาตัวอย่างในฟอร์มาลีน 10 % คำนวณปริมาณที่พบ (ตัว/ตร.ม.) ด้วยสูตรการคำนวณปริมาณสัตว์พื้นใต้น้ำที่อธิบายไว้แล้วข้างต้น

5. ชนิดและปริมาณอาหารในกระเพาะอาหารกุ้ง

สุ่มเก็บตัวอย่างกุ้งในบ่อทดลองสัปดาห์ละ 1 ครั้ง ๆ ละ 10 ตัวในเวลาเช้า (07.00-08.00 น.) นำมาแช่ในน้ำทะเลเย็นจัด (น้ำทะเล + น้ำแข็ง + เกลือ) จากนั้นจึงนำมาชั่งน้ำหนัก แล้วเก็บรักษาตัวอย่างในฟอร์มาลีน 10 % ที่เตรียมโดยใช้น้ำทะเล นำตัวอย่างกุ้งที่เก็บรักษาไว้ในฟอร์มาลีน 10 % มาแยกเอากระเพาะอาหารแล้วนำไปผ่าและชะล้างอาหารลงในสไลด์ด้วยน้ำกลั่น นำไปส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์เพื่อจำแนกชนิดและคำนวณความถี่ที่พบของอาหารแต่ละชนิดเป็นร้อยละของจำนวน (เสาวภา, 2548) ดังสมการ

$$\text{ร้อยละความถี่ของอาหารแต่ละชนิดที่พบ (frequency of occurrence)} = \frac{100 \times Np}{N'}$$

เมื่อ Np คือ จำนวนของกระเพาะที่พบอาหารชนิด p, N' คือ จำนวนกระเพาะกุ้งทั้งหมดที่ใช้วิเคราะห์ในแต่ละสัปดาห์

สำหรับการศึกษาองค์ประกอบเชิงปริมาณ (numerical composition) ดำเนินการโดยนับจำนวนตัวหรือเซลล์ของอาหารแต่ละชนิด (ดัดแปลงจาก Angsupanich, 1999) โดยจำแนกอาหารที่พบออกเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มของอาหารที่ไม่สามารถนับเป็นจำนวนได้และกลุ่มของอาหารที่สามารถนับเป็นจำนวนได้ โดยอาหารที่ไม่สามารถนับเป็นจำนวนได้ ได้แก่ plant cell และ detritus/pellet จะประเมินปริมาณเป็นเปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่มีอาหารชนิดนั้นๆเทียบกับพื้นที่ที่มีอาหารทั้งหมด (เท่ากับร้อยละ) และอาหารที่นับเป็นจำนวนได้ดำเนินการโดยนับจำนวนชิ้นที่พบ ในกรณีอาหารที่ถูกย่อยจนเหลือเพียงอวัยวะบางส่วนนับจำนวนชิ้นอวัยวะของสิ่งมีชีวิตชนิดที่พบ ที่มีอยู่ชิ้นเดียวต่อตัว หรือในกรณีที่พบอวัยวะดังกล่าวหลายอวัยวะ เลือกอวัยวะส่วนใดส่วนหนึ่งที่มีปริมาณชิ้นมากที่สุด ดังนี้ โคพิพอด จำแนกส่วนหัว หรือ carapace หรือส่วนหาง จำนวน 1 ชิ้นนับเป็น 1 ตัว, ตัวอ่อนยุง จำแนกส่วนหัว หรือไซฟอน หรือหาง 1 ชิ้น นับเป็น 1 ตัว ไข่ยุงที่มีโครงสร้างเปลือกสมบูรณ์มากกว่า 50% นับเป็น 1 ตัว หนอนแดง จำแนกส่วนหัว จำนวน 1 ชิ้นนับเป็น 1 ตัว สำหรับอาหารที่ไม่ถูกย่อยเป็นชิ้นส่วน ได้แก่ โรติเฟอร์ *Brachionus*, *Colurella* พบ 1 ชิ้นนับเป็น 1 ตัว ไดอะตอม *Navicula, Pleurosigma* และ โปรโตซัว *Zoothamnium* พบ 1 ชิ้นนับเป็น 1 เซลล์ แล้วนำข้อมูลทั้งหมดคำนวณเป็นร้อยละของปริมาณที่พบ (เสาวภา, 2548) ดังสมการ

$$\text{ร้อยละของปริมาณอาหารแต่ละชนิดในกุ้งหนึ่งตัว (numerical composition)} = \frac{100 \times p_i}{P}$$

เมื่อ p_i คือ จำนวนตัวของอาหารชนิด i, P คือ จำนวนตัวของอาหารทุกชนิดรวมกัน

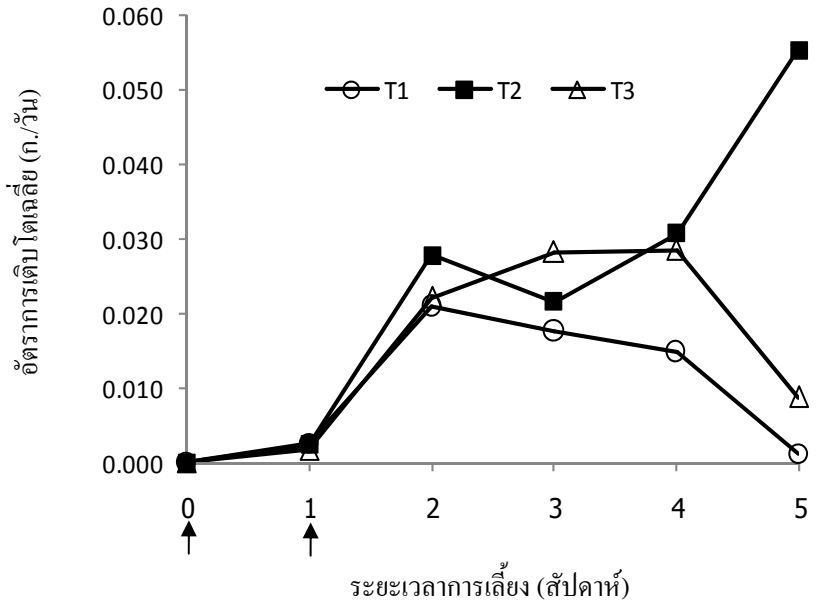
6. การวิเคราะห์ทางสถิติ

ในการศึกษาครั้งนี้วางแผนการวิเคราะห์ทางสถิติแบบการทดลองที่มีการวัดซ้ำ (Repeated Measurement Experiment) (Field, 2008) โดยชั่งน้ำหนักและคำนวณอัตราการเติบโตของลูกกุ้งที่เปลี่ยนแปลงทุกสัปดาห์ ดังนั้นจึงวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) ของข้อมูลน้ำหนักและอัตราการเติบโตที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากปัจจัยของสภาวะอาหารที่แตกต่างกันและระยะเวลาการทดลองโดยใช้ General Linear Model แบบ Repeated Measures และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ (Multiple Linear Regression analysis) ของตัวแปรอัตราการเติบโตของลูกกุ้งกุลาดำที่ปล่อยลงเลี้ยงกับปริมาณอาหารธรรมชาติ คือ สัตว์พื้นใต้น้ำ แพลงก์ตอนสัตว์ และ ไดอะตอมหน้าดิน โดยใช้วิธี Stepwise และเพื่อเป็นการป้องกันปัญหาการเกิดความสัมพันธ์ (Multi-colinearity) ภายในระหว่างตัวแปรที่อาจถูกคัดเลือกเข้ามาในโมเดล โดยควบคุมค่า Variance of Inflation (VIF) ในการยอมรับตัวแปรในสมการให้มีค่าน้อยกว่า 4 การวิเคราะห์ทางสถิติทั้งหมด ใช้โปรแกรมวิเคราะห์สถิติสำเร็จรูป SPSS Version 16.0 (Kutner *et al*., 2004)

ผลการทดลอง

การเติบโตของกุ้ง

ผลการเลี้ยงกุ้งกุลาดำวัยรุ่นขนาดเริ่มต้นเฉลี่ย 0.013 กรัม เป็นเวลา 5 สัปดาห์ พบว่ากุ้งมีน้ำหนักเฉลี่ยสุดท้ายเท่ากับ 0.411 ± 0.020, 0.976 ± 0.285 และ 0.635 ± 0.205 กรัมต่อตัว และมีอัตราการเติบโตที่สัปดาห์ที่ 5 เท่ากับ 0.001±0.002, 0.055±0.030 และ 0.009±0.026 กรัมต่อวันในชุดการทดลองที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ (ตารางที่ 5-1) สำหรับแนวโน้มของอัตราการเติบโตพบว่าในชุดการทดลองที่ 1 มีค่าสูงสุดที่สัปดาห์ที่ 2หลังจากนั้นจึงมีค่าลดลงจนใกล้เคียงศูนย์ในสัปดาห์ที่ 5 และในชุดการทดลองที่ 2 อัตราการเติบโตมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อยตลอดการทดลอง 5 สัปดาห์ สำหรับในชุดการทดลองที่ 3 อัตราการเติบโตมีแนวโน้มสูงขึ้นจนถึงสัปดาห์ที่ 4 แล้วมีค่าลดต่ำลงในสัปดาห์ที่ 5 (รูปที่ 5-1)



รูปที่ 5-1 อัตราการเติบโตเฉลี่ยของกุ้งกุลาดำวัยรุ่นที่เลี้ยงในสภาวะที่มีอาหารแตกต่างกัน 3 รูปแบบ (T1 = ไม่ให้อาหารสำเร็จรูป, T2 = ให้อาหารเม็ดสำเร็จรูป, T3 = ไม่ให้อาหารสำเร็จรูปแต่ปลูกสาหร่ายไส้ไก่, ลูกศร ↑ แสดงวันที่คราดดิน)

เมื่อนำข้อมูลการเติบโตของกุ้งมาวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้วิธี repeated measures พบว่า รูปแบบการให้อาหารที่แตกต่างกันและระยะเวลาการทดลองมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเฉลี่ยและอัตราการเติบโตอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) พิจารณาน้ำหนักเฉลี่ยและอัตราการเติบโตเฉลี่ยของกุ้งที่ระยะเวลาเลี้ยงตั้งแต่เริ่มต้นจนถึง 4 สัปดาห์ พบว่าชุดการทดลองที่ 1 แตกต่างกับชุดการทดลองที่ 2 และ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) และเมื่อเลี้ยงไปเป็นเวลา 5 สัปดาห์ น้ำหนักเฉลี่ยของกุ้งในชุดการทดลองที่ 1 และ 2 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ขณะที่น้ำหนักเฉลี่ยของกุ้งในชุดการทดลองที่ 3 ไม่แตกต่างกับชุดการทดลองที่ 1 และ 2 ($P>0.05$) เช่นเดียวกับผลการวิเคราะห์อัตราการเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (ตารางที่ 5-1)

ตารางที่ 5-1 ผลการวิเคราะห์น้ำหนักเฉลี่ยและอัตราการเติบโตเฉลี่ยของกุ้งตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงระยะเวลาเลี้ยง 5 สัปดาห์ โดยใช้วิธีวิเคราะห์แบบ repeated measures (mean ± SD, n=10)

ข้อมูล	ชุดการทดลอง	ระยะเวลาเลี้ยง (สัปดาห์)					
		0	1	2	3	4	5
น้ำหนักเฉลี่ย (ก./ตัว)	1	0.013±0.000	0.030±0.000	0.177±0.011	0.300±0.046	0.404±0.034^{a}	0.411±0.020^{a}
	2	0.013±0.000	0.029±0.000	0.224±0.048	0.374±0.084	0.589±0.092^{b}	0.976±0.285^{b}
	3	0.013±0.000	0.024±0.000	0.178±0.012	0.375±0.042	0.574±0.027^{b}	0.635±0.205^{ab}
อัตราการเติบโตเฉลี่ย (ก./วัน)	1	0.000±0.000	0.002±0.000	0.021±0.002	0.018±0.006	0.015±0.020^{a}	0.001±0.002^{a}
	2	0.000±0.000	0.002±0.000	0.028±0.007	0.022±0.006	0.031±0.020^{b}	0.055±0.030^{b}
	3	0.000±0.000	0.002±0.000	0.022±0.002	0.028±0.008	0.028±0.009^{b}	0.009±0.026^{ab}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันหากกำกับด้วยตัวอักษรต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) (T1 = ไม่ให้อาหารสำเร็จรูป, T2 = ให้อาหารเม็ดสำเร็จรูป, T3 = ไม่ให้อาหารสำเร็จรูปแต่ปลูกสาหร่ายไส้ไก่)

สิ่งมีชีวิตที่พบในน้ำ

แพลงก์ตอนสัตว์

จากการศึกษาพบแพลงก์ตอนสัตว์ (ตารางที่ 5-2) ใน Phylum Arthropoda จำนวน 3 Order ได้แก่ Order Diptera (ตัวอ่อนยุง : Mosquito larva) Order Cyclopoida (Cyclopoid copepod) และ Order Harpacticoida (Harpacticoid copepod) พบแพลงก์ตอนสัตว์ใน Phylum Rotifera 3 ชนิด ได้แก่ โรติเฟอร์ *Brachionus* sp., *Colurella* sp. และ *Lecane* sp. ใน Phylum Protozoa 1 ชนิด ได้แก่

Euplotes sp. และใน Phylum Nematoda 1 ชนิด สำหรับตัวอ่อนยุงสามารถพบได้ในทุกชุดการทดลองตลอดระยะเวลาการเลี้ยงกุ้ง และพบว่ามีโคพิพอดเกิดขึ้นในทุกชุดการทดลองตลอดระยะเวลาการเลี้ยงกุ้ง (ตารางที่ 5-2) และเมื่อพิจารณาแยกตามชนิด พบว่า ปริมาณตัวอ่อนโคพิพอดและ Cyclopoid copepod พบมากกว่าปริมาณ Harpacticoid copepod โดยที่ Harpacticoid copepod พบในชุดการทดลองที่ 3 ตลอดการเลี้ยงกุ้งและพบ ในชุดการทดลองที่ 1 ในสัปดาห์ที่ 3 ของการเลี้ยงกุ้งเท่านั้น

สำหรับโรติเฟอร์พบ *Brachionus* sp. ในชุดการทดลองที่ 1 ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2 ไปจนตลอดการเลี้ยง ชุดการทดลองที่ 2 พบเฉพาะในสัปดาห์ที่ 5 แต่ชุดการทดลองที่ 3 พบเฉพาะในสัปดาห์ที่ 2, 4 และ 5 เท่านั้น และพบโรติเฟอร์ *Colurella* sp. ในชุดการทดลองที่ 1 ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 3 ไปจนตลอดการเลี้ยง ในชุดการทดลองที่ 2 พบเฉพาะในสัปดาห์ที่ 5 และในชุดการทดลองที่ 3 พบตลอดการเลี้ยง สำหรับ *Lecane* sp. พบเฉพาะในชุดการทดลองที่ 3 นอกจากนี้ยังพบโปรโตซัว ในสัปดาห์ที่ 4 ของชุดการทดลองที่ 2 และพบในทุกชุดการทดลองในสัปดาห์ที่ 5 นอกจากนี้ยังพบหนอนตัวกลม (Nematoda) ในชุดการทดลองที่ 3 ตลอดการทดลองอีกด้วย (ตารางที่ 5-2)

ไดอะตอมหน้าดิน

พบไดอะตอมหน้าดิน (benthic diatom) 2 สกุล ได้แก่ *Navicula* และ *Pleurosigma* ซึ่งจัดอยู่ใน Division Heterokontophyta Class Bacillariophyceae Order Naviculales Family Naviculaceae และ Family Pleurosigmataceae โดยพบ *Navicula* ในทุกชุดการทดลองตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดการทดลอง ซึ่งปริมาณ *Navicula* ในชุดการทดลองที่ 3 สูงกว่าในชุดการทดลองที่ 1 และ 2 สำหรับ *Pleurosigma* พบเฉพาะในชุดการทดลองที่ 3 ในช่วงเริ่มทดลองจนถึงสัปดาห์ที่ 2 หลังจากนั้นจึงพบในทุกชุดการทดลอง (ตารางที่ 5-2)

สิ่งมีชีวิตที่พบที่หน้าดิน

สัตว์พื้นใต้น้ำ

การทดลองครั้งนี้พบสัตว์พื้นใต้น้ำขนาดใหญ่ 2 ชนิด (ตารางที่ 5-2) คือ หนอนแดง (Chironomid larvae) อยู่ใน Phylum Arthropoda Class Insecta Order Diptera Family Chironomidae Genus Chironomus โดยในชุดการทดลองที่ 1พบปริมาณหนอนแดงสูงสุดเมื่อเริ่มทดลอง และชุดการทดลองที่ 2 และ 3 มีปริมาณสูงสุดในสัปดาห์ที่ 1 ของการเลี้ยง หลังจากนั้นปริมาณหนอนแดงลดลงอย่างรวดเร็วในสัปดาห์ที่ 2 และลดลงเรื่อย ๆ จนไม่พบหนอนแดงเลยในสัปดาห์ที่ 5 ในทุกชุดการทดลอง และพบหนอนตัวกลมใน Phylum Nematoda ในทุกชุดการทดลองตลอดการทดลอง

ไดอะตอมหน้าดิน

พบไดอะตอมหน้าดิน (benthic diatom) 2 สกุล เช่นเดียวกับในน้ำได้แก่ *Navicula* และ *Pleurosigma* โดยพบ *Navicula* ในทุกชุดการทดลองตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดการทดลอง ซึ่งปริมาณใกล้เคียงกันในทุกชุดการทดลอง (ตารางที่ 5-2)

ชนิดและปริมาณอาหารในกระเพาะอาหารลูกกุ้งกุลาดำวัยรุ่น

จากการเก็บตัวอย่างลูกกุ้งกุลาดำวัยรุ่นที่เลี้ยงในสภาวะที่มีอาหารแตกต่างกัน 3 ชุดการทดลอง ๆ ละ 10 ตัวต่อสัปดาห์ เพื่อศึกษาชนิดและปริมาณอาหารในกระเพาะอาหาร พบว่าอาหารชนิดหลักที่ลูกกุ้งกุลาดำในทุกชุดการทดลองกิน ได้แก่ โคพิพอด โดยมีความถี่สูงสุดเท่ากับ 93.3±14.9, 94.0 ±8.9 และ 96.0±8.9 % (ตารางที่ 5-3) แต่มีปริมาณปานกลาง (ตารางที่ 5-4) เท่ากับ 11.4±17.2, 33.4±22.9 และ 18.8±12.6% ในชุดการทดลองที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ รองลงมาได้แก่ ตัวอ่อนยุง ความถี่ที่พบเท่ากับ 73.1±23.0, 83.2±9.9 และ 81.7±16.8 % แต่พบปริมาณน้อยเพียง 2.0±1.8, 6.2±5.5 และ 1.6±1.0% ในชุดการทดลองที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ และสาหร่ายอื่น ๆ พบความถี่และปริมาณปานกลาง นอกจากนี้ยังพบ benthic diatom ได้แก่ *Pleurosigma* sp. และ *Navicula* spp. ในทุกชุดการทดลองโดยในชุดการทดลองที่ 1 พบ *Pleurosigma* sp. ในความถี่และปริมาณสูงกว่า (63.6±33.5 และ 13.7±16.8 %) ในชุดการทดลองอื่น ขณะที่ชุดการทดลองที่ 3 พบ *Navicula* spp. ในความถี่และปริมาณสูงกว่า (72.8±29.2 และ 41.3±19.9%)ในชุดการทดลองอื่น

เมื่อพิจารณาแต่ละชุดการทดลอง พบว่า กุ้งในชุดการทดลองที่ 1 และ 2 กินซากเน่าเปื่อย/อาหารเม็ด เป็นหลักด้วย (ความถี่เท่ากับ 76.6±24.9 และ 82.6±10.0% และมีปริมาณสูงสุดเท่ากับ 34.5±19.9 และ 26.2±4.2% ในชุดการทดลองที่ 1 และ 2 ตามลำดับ) และกุ้งในชุดการทดลองที่ 1 กินโรติเฟอร์ *Brachionus* sp. และ *Colurella* sp. ความถี่สูงกว่าในชุดการทดลองอื่น ๆ แต่พบปริมาณน้อยในทุกชุดการทดลอง สำหรับในชุดการทดลองที่ 3 ซึ่งเลี้ยงกุ้งในระบบที่มีสาหร่ายไส้ไก่ พบว่า กุ้งกินสาหร่ายไส้ไก่ความถี่เท่ากับ 31.1±24.3% ในปริมาณน้อยเท่ากับ 2.4±1.7% สำหรับหนอนแดงพบความถี่ปานกลาง (27.3±12.1, 10.3±10.8 และ 31.6±24.9% ตามลำดับ) และปริมาณน้อย (0.5±0.5, 0.3±0.3 และ 0.3±0.4%) ในทุกชุดการทดลอง นอกจากนี้ยังพบ *Microcystis* sp. ซึ่งมีความถี่และปริมาณปานกลางในชุดการทดลองที่ 1 (28.7±25.9 และ 8.0±9.0%) และพบน้อยทั้งความถี่และปริมาณในชุดการทดลองที่ 2 (6.2±9.1 และ 3.3±4.6%) และ 3 (5.2±7.5 และ 0.5±0.8%) และสำหรับไข่ยุง, *Zoothamnium* sp. และ unknown egg พบความถี่และปริมาณน้อยในทุกชุดการทดลอง

ตารางที่ 5-2 ปริมาณสิ่งมีชีวิตที่พบในน้ำ (แพลงก์ตอนสัตว์ (ตัว/ล.), แพลงก์ตอนพืช และโปรโตซัว (เซลล์/ล.)) และที่หน้าดิน (แพลงก์ตอนพืช (เซลล์/ตร.ม.), สัตว์พื้นใต้น้ำ (ตัว/ตร.ม.)) แต่ละชนิดที่พบในช่วงเลี้ยงกุ้งที่ระยะเวลาต่าง ๆ

แหล่งที่อยู่	ชนิดของสิ่งมีชีวิต	ระยะเวลาเลี้ยง (สัปดาห์)																	
		0			1			2			3			4			5		
		T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3
water	Chironomid larvae	0	0	1	0	0	23	0	0	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Mosquito larvae+egg	61	87	68	32	98	52	23	58	43	5	50	25	23	40	28	27	1	13
	Total copepod	137	163	220	73	20	487	15	10	501	348	3	450	33	135	806	80	102	491
	- Cyclopoid	108	128	28	70	15	217	15	10	164	0	3	99	12	65	84	0	0	15
	- Harpacticoid	0	0	10	0	0	45	0	0	106	13	0	118	0	0	91	0	0	23
	- nauplius	29	35	182	3	5	225	0	0	231	335	0	233	21	70	632	80	102	453
	Brachionus sp.	0	0	0	0	0	6	2	0	0	3	0	0	2,750	0	73	4,605	4,112	112
	Colurella sp.	0	0	4	0	0	80	0	0	100	133	0	238	1,729	0	536	178	366	1,254
	Lecane sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	29	0	0	19	0	0	22	0	0	11
	Euplotes sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	508	0	6,631	428	93
	Nematoda	0	0	207	0	0	1,042	0	0	185	0	0	114	0	0	8	0	0	36
	Navicula spp.	203	161	46,654	60	60	119,618	750	60	66,312	3,180	255	71,164	4,300	150	22,698	325	279	87,940
	Pleurosigma sp.	0	0	1,711	0	0	1,082	0	0	622	88,478	110	1,400	67,912	9,825	22,268	92,514	53,648	285,563
benthic	Chironomid larvae	4,973	3,633	3,847	3,920	4,533	7,280	80	907	587	107	80	80	53	27	27	0	0	0
	Nematoda	1.8×10^{7}	1.1×10^{7}	4.5×10^{7}	2.3×10^{6}	4.7×10^{6}	7.1×10^{6}	7.1×10^{6}	2.2×10^{6}	1.5×10^{7}	7.1×10^{6}	4.9×10^{6}	6.6×10^{6}	1.3×10^{7}	1.8×10^{6}	3.8×10^{6}	1.1×10^{7}	1.6×10^{6}	1.4×10^{6}
	Navicula spp.	5.4×10^{7}	4.6×10^{7}	3.6×10^{7}	2.1×10^{7}	3.5×10^{7}	3.5×10^{7}	7.6×10^{6}	6.6×10^{6}	7.6×10^{6}	3.9×10^{7}	2.1×10^{7}	9.8×10^{7}	2.0×10^{7}	5.55×10^{6}	1.5×10^{7}	5.3×10^{6}	6.6×10^{6}	2.8×10^{6}
	Pleurosigma sp.	2.7×10^{7}	3.5×10^{7}	1.8×10^{7}	9.4×10^{6}	7.06×10^{6}	7.1×10^{6}	7.1×10^{6}	5.5×10^{6}	5.1×10^{6}	1.4×10^{7}	2.1×10^{7}	1.3×10^{7}	1.0×10^{7}	1.7×10^{7}	1.1×10^{7}	7.9×10^{7}	2.5×10^{7}	3.7×10^{7}

(T1= ไม่ให้อาหารเม็ดสำเร็จรูป, T2=ให้อาหารเม็ดสำเร็จรูป, T3=ไม่ให้อาหารเม็ดสำเร็จรูปแต่ปลูกสาหร่ายไส้ไก่)

ตารางที่ 5-3 ความถี่ที่พบอาหารแต่ละชนิด (frequency of occurrence) ในกระเพาะอาหารของกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงในสภาวะที่มีอาหารแตกต่างกัน 3 รูปแบบที่ระยะเวลาการเลี้ยง 1-5 สัปดาห์

Food item	Frequency of occurrence (%)																	
	1			2			3			4			5			Mean ± SD		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3
plant cell																		
Gutweed	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.0	0.0	0.0	11.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	54.5	**0.0**	**0.0**	**31.1 ± 24.3**
Plants debris	58.3	75.0	76.9	100.0	80.0	60.0	77.8	100.0	66.7	60.0	25.0	55.6	90.0	55.6	90.9	**77.2 ± 18.3**	**67.1 ± 28.4**	**75.6 ± 12.4**
Microcystis sp.	16.7	0.0	0.0	40.0	0.0	0.0	66.7	20.0	0.0	20.0	0.0	11.1	0.0	11.1	9.1	**28.7 ± 25.9**	**6.2 ± 9.1**	**5.2 ± 7.5**
copepod	66.7	100.0	100.0	100.0	80.0	80.0	100.0	90.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	**93.3 ± 14.9**	**94.0 ± 8.9**	**96.0 ± 8.9**
insect larvae																		
mosquito larvae	66.7	83.3	69.2	100.0	100.0	100.0	88.9	80.0	100.0	40.0	75.0	77.8	70.0	77.8	72.7	**73.1 ± 23.0**	**83.2 ± 9.9**	**81.7 ± 16.8**
mosquito egg	0.0	0.0	0.0	0.0	20.0	0.0	22.2	0	0.0	20.0	0	44.4	10.0	44.4	9.1	**10.4 ± 10.6**	**12.9 ± 19.7**	**1.8 ± 4.1**
Chironomid larvae	33.3	16.7	0.0	20.0	0.0	40.0	33.3	10.0	33.3	40.0	25.0	66.7	10.0	0	18.2	**27.3 ± 12.1**	**10.3 ± 10.8**	**31.6 ± 24.9**
benthic diatom																		
Pleurosigma sp.	33.3	41.7	7.7	40.0	20.0	0.0	44.4	20.0	0.0	100.0	75.0	88.9	100.0	88.9	90.9	**63.6 ± 33.5**	**49.1 ± 31.6**	**29.7 ± 40.0**
Navicula spp.	33.3	50.0	23.1	60.0	40.0	80.0	44.4	40.0	77.8	100.0	100.0	33.3	100.0	33.3	100.0	**67.6 ± 31.1**	**52.7 ± 27.1**	**72.8 ±29.2**
rotifer																		
Brachionus sp.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.1	0.0	0.0	80.0	0.0	44.4	100.0	44.4	27.3	**38.2 ± 48.0**	**8.9 ± 19.9**	**5.5 ± 12.2**
Colurella sp.	0.0	0.0	0.0	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	44.4	100.0	0.0	44.4	70.0	44.4	72.7	**38.0 ± 44.9**	**8.9 ± 19.9**	**30.1 ± 31.0**
protozoa																		
Zoothamnium sp.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.0	25.0	33.3	60.0	33.3	18.2	**20.0 ± 28.3**	**11.7 ± 16.2**	**3.6 ± 8.1**
detritus/pellet	58.3	75.0	15.4	80.0	80.0	0.0	44.4	80.0	22.2	100.0	100.0	77.8	100.0	77.8	0.0	**76.6 ± 24.9**	**82.6 ± 10.0**	**14.2 ± 14.4**
unknown egg	8.3	0.0	30.8	20.0	20.0	0.0	44.4	0.0	33.3	0.0	0.0	44.4	50.0	44.4	27.3	**24.6 ± 22.0**	**12.9 ± 19.7**	**21.6 ± 13.6**

(T1= ไม่ให้อาหารเม็ดสำเร็จรูป, T2=ให้อาหารเม็ดสำเร็จรูป, T3=ไม่ให้อาหารเม็ดสำเร็จรูปแต่ปลูกสาหร่ายไส้ไก่)

ตารางที่ 5-4 องค์ประกอบเชิงปริมาณ (numerical composition) ในกระเพาะอาหารของกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงในสภาวะที่มีอาหารแตกต่างกัน 3 รูปแบบที่ระยะเวลาการเลี้ยง 1-5 สัปดาห์

Food item	Numerical composition (%)																	
	1			2			3			4			5			Mean ± SD		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3
plant cell																		
Gutweed	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.9	0.0	0.0	4.2	0.0	0.0	3.4	0.0	0.0	1.5	**0.0**	**0.0**	**2.4 ± 1.7**
Plants debris	25.8	32.3	13.9	11.1	30.4	27.2	20.9	29.5	13.5	4.8	0.3	41.1	10.7	5.4	15.9	**14.7 ± 8.5**	**19.6 ±15.4**	**22.4± 11.9**
Microcystis sp.	5.5	0.0	0.0	11.5	10.1	0.0	22.0	6.0	0.0	1.2	0.0	1.7	0.0	0.4	0.9	**8.0 ± 9.0**	**3.3 ± 4.6**	**0.5 ± 0.8**
copepod		26.3	27.2	4.1	4.3	2.5	41.6	22.9	28.9	1.4	55.6	7.7	1.2	57.9	27.5	**11.4 ± 17.2**	**33.4± 22.9**	**18.8± 12.6**
insect larvae																		
mosquito larvae	3.8	5.0	2.6	3.2	15.8	2.5	3.0	3.7	1.5	0.03	4.9	0.1	0.06	1.6	1.5	**2.0 ± 1.8**	**6.2 ± 5.5**	**1.6 ± 1.0**
mosquito egg	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2	0.0	0.4	0.0	0.0	0.03	0.0	0.0	0.0	0.5	0.1	**0.1 ± 0.2**	**0.5 ± 0.9**	**0.02 ± 0.04**
Chironomid larvae	1.3	0.6	0.0	0.6	0.0	0.5	0.4	0.4	0.9	0.04	0.5	0.1	0.0	0.0	0.1	**0.5 ± 0.5**	**0.3 ± 0.3**	**0.3 ± 0.4**
benthic diatom																		
Pleurosigma sp.	4.6	10.7	0.1	1.0	1.1	0.0	2.1	2.9	0.0	40.3	2.3	13.3	20.4	2.2	35.2	**13.7 ± 16.8**	**3.8 ± 3.9**	**9.7 ± 15.4**
Navicula spp.	4.0	3.1	52.6	35.0	3.3	64.4	4.9	12.0	46.4	15.7	7.8	29.2	7.7	2.9	14.0	**13.4 ± 12.9**	**5.8 ± 4.0**	**41.3± 19.9**
rotifer																		
Brachionus sp.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	3.0	0.3	0.2	**0.7 ± 1.3**	**0.1 ± 0.1**	**0.04 ± 0.1**
Colurella sp.	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.9	0.3	0.2	0.3	0.8	2.0	**0.4 ± 0.4**	**0.2 ± 0.3**	**0.5 ± 0.9**
protozoa																		
Zoothamnium sp.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.8	0.0	0.7	0.8	0.8	**0.2 ± 0.3**	**0.3 ± 0.4**	**0.2 ± 0.3**
detritus/pellet		22.0	2.7	32.5	32.3	0.0	3.1	22.6	3.9	35.0	27.5	2.8	55.8	26.6	0.0	**34.5 ±19.9**	**26.2 ± 4.2**	**1.9 ± 1.8**
unknown egg		0.0	0.9	0.3	0.5	0.0	1.5	0.0	0.5	0.0	0.0	0.4	0.1	0.6	0.3	**0.4 ± 0.6**	**0.2 ± 0.3**	**0.4 ± 0.3**

(T1= ไม่ให้อาหารเม็ดสำเร็จรูป, T2=ให้อาหารเม็ดสำเร็จรูป, T3=ไม่ให้อาหารเม็ดสำเร็จรูปแต่ปลูกสาหร่ายไส้ไก่)

ความสัมพันธ์ระหว่างอาหารธรรมชาติกับการเติบโตของกุ้ง

จากผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการเติบโตของกุ้งกับปริมาณอาหารธรรมชาติ (ตารางที่ 5-5) พบว่าการเติบโตของกุ้งมีความสัมพันธ์กับปริมาณหนอนแดงมากที่สุด รองลงมาได้แก่ โปรโตซัว *Euplotes* sp. ไดอะตอม *Pleurosigma* sp. และโรติเฟอร์ *Brachionus* sp.

ตารางที่ 5-5 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอาหารธรรมชาติกับอัตราการเติบโตของกุ้ง

ตัวแปรที่ศึกษา	ผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์					
	ตัวแปรอิสระที่มีอิทธิพล	ค่า	partial R^2	VIF	F	Sig.
อัตราการเติบโต	ค่าคงที่	0.029	-		26.87	<0.001
เฉลี่ย/วัน	Chironomid larvae	-4.29×10^{-6}	0.43	1.122		
	Pleurosigma sp.	-3.89×10^{-10}	0.137	1.936		
	Brachionus sp.	9.3×10^{-6}	0.135	2.842		
	Euplotes sp.	-5.9×10^{-6}	0.191	1.917		
			$\mathbf{R^2} = 0.893$			

วิจารณ์ผลการทดลอง

การทดลองเลี้ยงกุ้งกุลาดำในบ่อน้ำกร่อยจำลองขนาดเล็กที่มีการเตรียมบ่อโดยการหมักดินและมีการให้อาหารแตกต่างกัน 3 รูปแบบ พบว่า การหมักดินเป็นการกระตุ้นให้มีการปล่อยสารอาหารออกมาส่งผลให้อาหารธรรมชาติเกิดขึ้นได้ และในสภาพที่มีสารอาหารพวกสารอินทรีย์สูงจะดึงดูดให้ริ้นน้ำจืดมาวางไข่ (วนิช, 2523; Yashouv, 1970) ทำให้เกิดหนอนแดงซึ่งเป็นอาหารธรรมชาติของลูกกุ้ง (นิรนาม, 2554) และในสภาวะที่มีระดับน้ำต่ำทำให้แสงส่องถึงพื้นได้ ส่งผลให้เกิดไดอะตอมหน้าดิน (benthic diatom) ซึ่งเป็นอาหารของลูกกุ้งเช่นกัน ชี้ให้เห็นว่า การหมุนเวียนสารอาหารที่เหลือตกค้างอยู่ในบ่อจากการเลี้ยงกุ้งในรอบที่ผ่านมากลับมาใช้ใหม่สามารถทำได้โดยการหมักดินเพื่อกระตุ้นให้มีการปล่อยสารอาหารออกมาเพื่อสร้างอาหารธรรมชาติแล้วหมุนเวียนกลับไปเป็นอาหารของกุ้งภายในบ่อเลี้ยงต่อไป ทั้งนี้เมื่อพิจารณาสิ่งมีชีวิตที่เกิดขึ้นในบ่อ พบว่ามีปริมาณแตกต่างกัน โดยในบ่อที่ไม่มีการปลูกสาหร่ายไส้ไก่มีสิ่งมีชีวิตบริเวณหน้าดินมากแต่ในน้ำมีปริมาณน้อย ขณะที่ในบ่อที่ปลูกสาหร่ายไส้ไก่มีสิ่งมีชีวิตมากทั้งบริเวณหน้าดินและในน้ำ ทำให้สัดส่วนของสิ่งมีชีวิตในน้ำและบริเวณหน้าดินในบ่อดังกล่าวแตกต่างกับบ่อที่ไม่มีสาหร่ายไส้ไก่ เนื่องจากมีสิ่งมีชีวิตเข้าไปอยู่ในกอสาหร่าย ขยายพันธุ์เพิ่มจำนวนได้มากกว่า สังเกตได้จากมีปริมาณ

ตัวอ่อนของสิ่งมีชีวิตอยู่ในกอสาหร่ายเป็นจำนวนมาก (การทดลองที่ 2) โดยพบปริมาณของสิ่งมีชีวิตในน้ำสูงกว่าบริเวณหน้าดินทั้งในบ่อที่ปลูกและไม่ปลูกสาหร่ายไส้ไก่

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบในกระเพาะอาหารของกุ้ง พบว่า กุ้งที่เลี้ยงในบ่อที่มีอาหารแตกต่างกัน 3 รูปแบบ มีความถี่ในการกินโคพิพอดสูงสุด ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากุ้งกินโคพิพอดบ่อยที่สุด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากโคพิพอดเป็นอาหารธรรมชาติที่เหมาะสม อีกทั้งปริมาณที่มีอยู่มากและสม่ำเสมอ ซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณโคพิพอดในน้ำที่สามารถพบได้ตลอดการทดลอง ทำให้กุ้งพบอาหารชนิดนี้ได้บ่อย สำหรับความถี่ขององค์ประกอบอื่น ๆ ที่พบในกระเพาะอาหารของกุ้งรองจากโคพิพอด กุ้งที่เลี้ยงในบ่อที่ไม่ให้อาหารเม็ดสำเร็จรูปพบ ชิ้นส่วนพืช, ซากเน่าเปื่อย และตัวอ่อนยุง ตามลำดับ กุ้งที่เลี้ยงในบ่อที่ให้อาหารเม็ดสำเร็จรูป พบ ตัวอ่อนยุง, ซากเน่าเปื่อย/อาหารเม็ดสำเร็จรูป และชิ้นส่วนพืช สำหรับกุ้งที่เลี้ยงในบ่อที่ปลูกสาหร่ายไส้ไก่ พบ ตัวอ่อนยุง, ชิ้นส่วนพืช และไดอะตอม *Navicula* spp. ตามลำดับ สำหรับองค์ประกอบในเชิงปริมาณ พบว่า กุ้งในบ่อที่ไม่ให้อาหารเม็ดสำเร็จรูปมีซากเน่าเปื่อยเป็นองค์ประกอบมากที่สุด (34.5 ± 19.9%) รองลงมาคือ ชิ้นส่วนพืช, ไดอะตอม *Pleurosigma* sp. และไดอะตอม *Navicula* spp. และกุ้งในบ่อที่เลี้ยงโดยการให้อาหารสำเร็จรูปมีโคพิพอดเป็นองค์ประกอบมากที่สุด (33.4 ± 22.9%) รองลงมาคือ ซากเน่าเปื่อย/อาหารสำเร็จรูป, ชิ้นส่วนพืช และตัวอ่อนยุง สำหรับกุ้งที่เลี้ยงในบ่อที่มีสาหร่ายไส้ไก่ มี *Navicula* spp. เป็นองค์ประกอบมากที่สุด (41.3±19.9%) รองลงมาคือ ชิ้นส่วนพืช, โคพิพอด และไดอะตอม *Pleurosigma* sp.

จะเห็นว่ากุ้งที่เลี้ยงในบ่อที่ไม่ปลูกสาหร่ายไส้ไก่กินซากเน่าเปื่อยมากกว่ากุ้งในบ่อที่ปลูกสาหร่ายไส้ไก่ แสดงว่า กุ้งในบ่อดังกล่าวหากินบริเวณหน้าดินเป็นหลัก ขณะที่กุ้งที่เลี้ยงในบ่อที่ปลูกสาหร่ายกินซากเน่าเปื่อยน้อย แสดงว่ากุ้งหากินในน้ำมากกว่า ซึ่งบริเวณที่มีอาหารธรรมชาติมากคือบริเวณสาหร่าย ชี้ให้เห็นว่าบริเวณกอสาหร่ายเป็นแหล่งหากินของกุ้งในบ่อดังกล่าว สอดคล้องกับการศึกษาของ Bombeo-Tuburan และคณะ (1993) ที่รายงานว่ากระเพาะอาหารของกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงด้วยอาหารธรรมชาติ 4 ชนิดด้วยรูปแบบการเลี้ยงแบบดั้งเดิม มีซากเน่าเปื่อย (detritus) มากที่สุดทั้งปริมาณและความถี่ที่พบ โดยพบโคพิพอดและชิ้นส่วนของสัตว์มากเป็นอันดับสองรองจากซากเน่าเปื่อย นอกจากนี้ Nunes และคณะ (1997) รายงานเช่นกันว่า กุ้งที่เลี้ยงในระบบกึ่งพัฒนาในช่วงแรกของการเลี้ยงจะกินพวกซากเน่าเปื่อย (detritus) เป็นหลัก หลังจากนั้นจึงเปลี่ยนพฤติกรรมมาเป็นพวกกินเนื้อ

จากผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของอาหารธรรมชาติกับการเติบโตของกุ้ง พบว่าอาหารธรรมชาติที่มีผลต่อการเติบโตของกุ้งมากที่สุดคือ หนอนแดง โดยพบว่าหนอนแดงมีปริมาณลดลงเรื่อย ๆ หลังจากปล่อยกุ้งลงเลี้ยงเป็นเวลา 2 สัปดาห์ แตกต่างกับระบบที่ไม่มีการรบกวนของ

กุ้งในการทดลองผลของสาหร่ายไส้ไก่ต่อการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรมีชีวิตในระบบนิเวศของบ่อน้ำกร่อยจำลองขนาดเล็ก (บทที่ 4) ซึ่งหนอนแดงมีปริมาณเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงสัปดาห์ที่ 5 ของการทดลอง แสดงให้เห็นว่าหนอนแดงมีบทบาทสำคัญต่อการเติบโตของกุ้ง อย่างไรก็ตามจากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบในกระเพาะอาหารของกุ้งพบหนอนแดงในปริมาณน้อยและความถี่ปานกลาง

เมื่อพิจารณาการเติบโตของกุ้งที่ปล่อยลงเลี้ยงที่ความหนาแน่น 53 ตัว/ตร.ม. พบว่ากุ้งที่เลี้ยงในบ่อที่สร้างอาหารธรรมชาติโดยการหมักเลนและไม่มีการให้อาหารสำเร็จรูป กุ้งมีการเติบโตสูงสุดในสัปดาห์ ที่ 2 ซึ่งอัตราการเติบโตดังกล่าวไม่แตกต่างกับกุ้งในบ่อที่ให้อาหารเม็ดและบ่อที่ปลูกสาหร่าย หลังจากนั้นในสัปดาห์ที่ 3 อัตราการเติบโตเริ่มลดลงและลดลงเรื่อย ๆ จนมีค่าใกล้เคียงศูนย์ในสัปดาห์สุดท้ายของการทดลอง ชี้ให้เห็นว่าวิธีการเตรียมบ่อโดยการหมักดินโดยใช้ระดับน้ำต่ำสามารถสร้างอาหารธรรมชาติเพียงพอสำหรับการเติบโตของลูกกุ้งได้เป็นเวลา 2 สัปดาห์ สำหรับการเติบโตของกุ้งในบ่อที่ให้อาหารเม็ดสำเร็จรูปมีการเติบโตเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการทดลองโดยมีการเติบโตสูงสุดในสัปดาห์สุดท้ายของการทดลอง และกุ้งที่เลี้ยงในบ่อที่ปลูกสาหร่ายไส้ไก่มีการเติบโตสูงสุดในสัปดาห์ที่ 4 โดยที่อัตราการเติบโตดังกล่าวไม่แตกต่างกับกุ้งที่เลี้ยงในบ่อที่ให้อาหารเม็ดสำเร็จรูป ($P>0.05$) ชี้ให้เห็นว่า วิธีการเตรียมบ่อโดยการหมักดินโดยใช้ระดับน้ำต่ำและปลูกสาหร่ายไส้ไก่สามารถสร้างอาหารธรรมชาติเพียงพอสำหรับการเติบโตของลูกกุ้งได้เป็นเวลานานถึง 4 สัปดาห์ ซึ่งด้วยวิธีการนี้จะสามารถช่วยให้เกษตรกรประหยัดต้นทุนในการเตรียมบ่อ เช่น ค่าลอกเลน และประหยัดค่าอาหารสำเร็จรูปได้ในช่วงแรก และจากการคำนวณเบื้องต้น พบว่าในบ่อขนาด 4 ไร่ที่มีการปล่อยลูกกุ้งด้วยความหนาแน่น 53 ตัว/ตร.ม. เกษตรกรสามารถประหยัดต้นทุนค่าลอกเลนได้ประมาณ 30,000 บาท และในเวลา 4 สัปดาห์สามารถประหยัดค่าอาหารสำเร็จรูปได้ประมาณ 9,330 บาท รวมประหยัดต้นทุนได้บ่อละประมาณ 39,330 บาท และจากการทดลองอัตราการเติบโตของกุ้งเริ่มลดลงในสัปดาห์ที่ 5 แสดงว่าอาหารธรรมชาติภายในบ่อเลี้ยงเริ่มหมด ซึ่งเกษตรกรควรจัดการการให้อาหาร โดยใช้อาหารเม็ดเข้ามาทดแทน หากไม่มีการจัดการดังกล่าวจะทำให้กุ้งมีการเติบโตลดลงและมีขนาดแตกต่างกันได้ ทั้งนี้การกำหนดระยะเวลาเพื่อจัดการใช้อาหารธรรมชาติในบ่อรองรับการเติบโตของกุ้งขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของกุ้งที่ปล่อยลงเลี้ยงและปริมาณอาหารธรรมชาติที่เกิดขึ้นในบ่อด้วย

จากรายงานของ Martinez-Cordova และคณะ (2003) ที่ศึกษาผลของระดับโปรตีนในอาหารสำเร็จรูปและจากการจัดการอาหารธรรมชาติ ต่อผลผลิตกุ้งฟ้า (blue shrimp, *Litopenaeus stylirostris*) พบว่าสำหรับการเลี้ยงกุ้งฟ้า การปรับระดับโปรตีนตามความชุกชุมของอาหารธรรมชาติ (zooplankton และ benthos) จะได้ประโยชน์มากกว่า เนื่องจากให้ผลผลิตกุ้งมากพอๆกับการเลี้ยงด้วยอาหารสำเร็จรูปที่มีระดับโปรตีนสูง และมีต้นทุนค่าอาหารที่ต่ำกว่า อีกทั้งส่งผลกระทบต่อ

สิ่งแวดล้อมน้อยกว่าด้วย นอกจากนี้การศึกษาบทบาทของผลผลิตธรรมชาติในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบ modified extensive shrimp pond ของ Moorthy และ Altaff (2002) รายงานว่าอาหารธรรมชาติมีบทบาทสำคัญต่อการเติบโตของกุ้งในช่วงแรกของการเลี้ยง ดังนั้นในการเลี้ยงกุ้งหากมีการสร้างอาหารธรรมชาติในบ่อให้มีเพียงพอก็จะสามารถลดต้นทุนและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้

สรุปผลการทดลอง

1. เมื่อปล่อยกุ้งลงเลี้ยงที่ความหนาแน่น 53 ตัว/ตร.ม. การเตรียมบ่อโดยวิธีการคราดดินและใช้ระดับน้ำต่ำสามารถสร้างอาหารธรรมชาติภายในบ่อเลี้ยงรองรับการเติบโตของกุ้งได้เป็นเวลา 2 สัปดาห์ ขณะที่การเตรียมบ่อด้วยวิธีดังกล่าวและปลูกสาหร่ายไส้ไก่เพื่อหมุนเวียนสารอาหารโดยใช้ระดับน้ำต่ำสามารถสร้างอาหารธรรมชาติภายในบ่อเลี้ยงรองรับการเติบโตของกุ้งได้เป็นเวลา 4 สัปดาห์ โดยไม่ต้องให้อาหารเม็ดสำเร็จรูป
2. ปริมาณหนอนแดงในบ่อเลี้ยงมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการเติบโตของกุ้งกุลาดำ ดังนั้นการกระตุ้นการเกิดหนอนแดงในบ่อเลี้ยงมากขึ้นจะทำให้กุ้งมีการเติบโตเพิ่มขึ้นได้
3. กุ้งกุลาดำที่เลี้ยงในระบบที่ไม่ปลูกสาหร่ายไส้ไก่มีพฤติกรรมการกินอาหารบริเวณหน้าดิน ขณะที่กุ้งที่เลี้ยงในระบบที่ปลูกสาหร่ายไส้ไก่มีพฤติกรรมหากินในน้ำหรือในบริเวณกอสาหร่ายไส้ไก่มากกว่า ชี้ให้เห็นว่า ระบบที่มีสาหร่ายไส้ไก่มีความอุดมสมบูรณ์ของอาหารธรรมชาติและเป็นแหล่งหากินที่เหมาะสมให้กับลูกกุ้งที่ปล่อยลงเลี้ยง

บทที่ 6

ผลของสาหร่ายไส้ไก่ต่อการหมุนเวียนและดุลไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่มีการให้อาหารแตกต่างกัน 3 รูปแบบ

บทคัดย่อ

การศึกษาผลของสาหร่ายไส้ไก่ต่อการหมุนเวียนและดุลไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่มีการให้อาหารแตกต่างกันกัน 3 รูปแบบ ได้ดำเนินการในบ่อน้ำกร่อยจำลองขนาดเล็กจำนวน 9 บ่อที่ใส่ดินเลนจากบ่อเลี้ยงกุ้งและเติมน้ำความเค็ม 16 ส่วนในพันส่วน ปริมาตร 125 ลิตร (ความลึกของน้ำ 5 ซม.) เตรียมบ่อทุกบ่อโดยการคราดดินเลนเพื่อเพิ่มออกซิเจนหน้าดินและให้สารอาหารในดินเลนละลายออกมาในน้ำสัปดาห์ละ 1 ครั้ง เป็นเวลา 2 สัปดาห์ แบ่งการทดลองออกตามรูปแบบการให้อาหาร คือ ไม่ให้อาหารสำเร็จรูป (T1) ให้อาหารสำเร็จรูป (T2) และไม่ให้อาหารสำเร็จรูปแต่ปลูกสาหร่ายไส้ไก่ (T3) ในบ่อชุด T3 ปลูกสาหร่ายไส้ไก่ความหนาแน่น 27 กรัม/ตร.ม. เป็นเวลา 2 สัปดาห์ แล้วจึงปล่อยกุ้งกุลาดำระยะโพสต์ลาวาร์ 20 น้ำหนักเฉลี่ย 0.013 กรัม/ตัว ในความหนาแน่น 53 ตัว/ตร.ม. ลงเลี้ยงในทุกชุดการทดลองเป็นเวลา 5 สัปดาห์ เก็บข้อมูลการเปลี่ยนแปลงสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเพื่อคำนวณดุลของปริมาณสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่มีการเปลี่ยนแปลงในระบบนิเวศ ผลการศึกษาพบว่า สาหร่ายไส้ไก่สามารถดูดสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสไปใช้ได้ดีกว่าแพลงก์ตอนพืช โดยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง ปริมาณไนโตรเจนในน้ำของบ่อ T3 มีค่าต่ำสุด เท่ากับ 0.300 กรัมต่อบ่อ และมีปริมาณฟอสฟอรัส เท่ากับ 0.071 กรัมต่อบ่อ ขณะที่ในบ่อ T1 และ T2 มีปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเท่ากับ 0.528, 0.047 กรัมต่อบ่อ และ 0.623, 0.195 กรัมต่อบ่อ ตามลำดับ และกุ้งที่เลี้ยงในบ่อ T3 ได้รับไนโตรเจนและฟอสฟอรัสผ่านทางผลผลิตธรรมชาติ สูงสุด (5.576 และ 0.110 กรัมต่อบ่อ ตามลำดับ) คิดเป็น 129.98 % ของไนโตรเจนและ 12.72% ของฟอสฟอรัสในดิน ส่วนบ่อ T2 มีการสะสมสุทธิของไนโตรเจนกลับสู่ดินพื้นบ่อในปริมาณ 0.149 กรัมต่อบ่อ (3.47% ของไนโตรเจนในดิน) และปลดปล่อยฟอสฟอรัสเท่ากับ 0.083 (9.60% ของฟอสฟอรัสในดิน) ขณะที่บ่อ T1 และ T3 มีปริมาณการปลดปล่อยไนโตรเจนและฟอสฟอรัส เท่ากับ 1.220 และ 1.790 กรัมต่อบ่อ (28.44 และ 41.68% ของไนโตรเจนในดิน) และ 0.110 และ 0.233 กรัมต่อบ่อ (12.72 และ 26.94% ของฟอสฟอรัสในดิน) ตามลำดับ ผลจากการทดลองครั้งนี้พบว่า ในระบบนิเวศบ่อเลี้ยงกุ้งที่ปลูกสาหร่าย

ไส้ไก่มีการหมุนเวียนสารอาหารสะสมอยู่ในดินกลับมาสู่ตัวกุ้งได้มากกว่า (32.70% ของไนโตรเจน และ 12.83% ของฟอสฟอรัสในดิน) ทำให้ระบบนิเวศบ่อเลี้ยงกุ้งมีสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสตกค้างในน้ำและดินน้อยลงเมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่ให้อาหารสำเร็จรูป ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการปลูกสาหร่ายไส้ไก่เป็นวิธีการหนึ่งที่ทำให้สามารถฟื้นฟูระบบนิเวศให้กลับคืนมาเหมาะสมสำหรับการเลี้ยงกุ้งกุลาดำได้

Effects of gutweed on transformation and budget of nitrogen and phosphorus in black tiger shrimp (*Penaeus monodon* Fabricius) pond fed with 3 different feeding regimes

Abstract

A study of effects of gutweed (*Ulva intestinalis* Linnaeus) on transformation and budget of nitrogen and phosphorus in black tiger shrimp (*Penaeus monodon* Fabricius) pond fed with 3 different regimes was conducted in 9 brackish water microcosms of which the sludge from shrimp pond and 125 liters (depth 5 cm) of brackish water at 16 ppt were added into the microcosms. The sludge was raked once a week for two weeks in order to increase oxygen transfer and nutrient release from sludge. The experiment had 3 feeding regimes; without pelleted feed (T1), with commercial pelleted feed (T2) and without pelleted feed but planting gutweed (T3). Gutweed was grown in the T3 at a density of 27 g/m^2 for two weeks, then, black tiger shrimp postlarvae (PL20; average weight 0.013 g/PL) were stocked into each microcosm at a density of 53 PL/m^2 and cultivated for 5 weeks. The amount of nitrogen and phosphorus transformation in the ecosystem was quantified using static nutrient budget model. The result showed that nutrients uptaken by gutweed was higher than that of phytoplankton. Nitrogen concentration in water column of T3 was the lowest (0.300 g/pond) and phosphorus concentration was 0.071 g/pond while those of T1 and T2 were 0.528, 0.047 g/pond and 0.623, 0.195 g/pond respectively. Shrimp T3 ingested the highest amounts of nitrogen and phosphorus through natural productivity (5.576 and 0.110 g/pond or 129.98 and 12.72% of nitrogen and phosphorus in sediment). In contrast, nitrogen accumulated in sediment of T2 at 0.149 g/pond (3.47% of nitrogen in sediment) and release phosphorus at 0.083 g/pond (9.60% of phosphorus in sediment). Net nitrogen and phosphorus accumulation in sediment of T1 and T3 was decreased about 1.220 and 1.790 g/pond (28.44 and 41.68% of nitrogen in sediment) and about 0.110 and 0.233 g/pond (12.72 และ 26.94% of phosphorus in sediment) in respectively. It was found that the plantation of gutweed in the ecosystem of black tiger shrimp pond can enhanced the cycling of nutrients from sediment to shrimp biomass (32.70% of nitrogen and 12.83% of phosphorus in sediment) resulting in the higher reduction of nitrogen and phosphorus in sediment than the pond

that pelleted feed was used. This indicates that the plantation of gutweed is one of the alternative ways to rehabilitate the ecosystem of shrimp pond to be suitable for black tiger shrimp culture.

บทนำ

การเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนาทั่วไปที่มีการให้อาหารเม็ดสำเร็จรูปในปริมาณมากมีของเสียที่เกิดขึ้นจากการขับถ่ายของกุ้งและจากอาหารส่วนเกิน สะสมอยู่ในบ่อเลี้ยง โดยของเสียเหล่านี้ส่วนหนึ่งสะสมในรูปของสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในตะกอนเลนก้นบ่อ (ดุสิตและคณะ, 2536) จากการศึกษาของ Teichert-Coddington และคณะ (2000) เกี่ยวกับดุลของสารอาหารในบ่อเลี้ยงกุ้งระบบ semi-intensive และได้รายงานว่า 63% ของไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นภายในบ่อมาจากน้ำที่เติมเข้ามาระหว่างเลี้ยง และ 36% มาจากอาหาร ในขณะที่ฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้นมาจากน้ำที่เติมเข้ามา 51% และมาจากอาหาร 47% โดยที่ 7% ของไนโตรเจนและ ประมาณ 31% ของฟอสฟอรัสจะถูกตรึงอยู่ในบ่อ Smith (1996) ได้รายงานว่า ตะกอนดินในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำในประเทศออสเตรเลียมีการสะสมของไนโตรเจนรวมเท่ากับ 2.25 มิลลิกรัม/กรัม และฟอสฟอรัสรวม เท่ากับ 690 ไมโครกรัม/กรัม ซึ่งสูงกว่าปริมาณไนโตรเจนรวมและฟอสฟอรัสรวมในตะกอนดินในเขตป่าชายเลนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ยังมีการศึกษาถึงดุลของสารประกอบไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและตะกอน เพื่อสร้างความเข้าใจเกี่ยวกับแหล่งที่มาและการสะสมของสารอาหารอันส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำในบ่อและคุณภาพน้ำทิ้งในระบบการเลี้ยงกุ้งแบบเปลี่ยนถ่ายน้ำซึ่งดุลนี้แสดงให้เห็นว่าสารประกอบและไนโตรเจนฟอสฟอรัสมีการสะสมและแพร่กระจายในตะกอนดินพื้นบ่อ ซึ่ง Funge-Smith (1998) ได้ศึกษาดุลของไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ในฟาร์มเลี้ยงกุ้งของประเทศไทยและพบว่า ฟาร์มส่วนใหญ่ที่ใช้วิธีการจัดการแบบมีการถ่ายน้ำในปริมาณน้อย ยังขาดความสามารถในการลดการสะสมของของเสียในดินตะกอนพื้นบ่อเลี้ยงกุ้งเพื่อให้น้ำในบ่อมีคุณภาพที่ดี เหมาะสมสำหรับการเติบโตของกุ้งวิธีการหนึ่งที่เกษตรกรนิยมใช้ในการเตรียมบ่อเพื่อเลี้ยงกุ้งในรอบต่อไปคือการขุดหรือฉีดเอาเลนที่มีของเสียสะสมอยู่ออกนอกบ่อเลี้ยง หากไม่มีการจัดการหรือเตรียมสถานที่เก็บเลนที่ดี มักส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ทำให้แหล่งเลี้ยงกุ้งมีความเสื่อมโทรมและเกิดปัญหาโรคระบาดกุ้งได้ ในด้านของการเตรียมสีน้ำ การนำดินเลนออกจากบ่อทำให้ดินเลนที่มีเหลืออยู่น้อยปล่อยสารอาหารออกมาสู่น้ำในปริมาณที่ไม่เพียงพอต่อการสร้างผลผลิตปฐมภูมิ (primary production) เช่น แพลงก์ตอนพืช ส่งผลให้ทำสีน้ำได้ยาก ลูกกุ้งที่ปล่อยลงเลี้ยงมักโตช้าและมีการเติบโตที่แตกต่างกัน ในทางตรงกันข้าม หากเกษตรกรใช้วิธีการเตรียมบ่อโดยไม่เอาดินเลนออกนอกบ่อเลี้ยง สารอินทรีย์และของเสียที่สะสมในกองเลนมีการเน่าเสียเพิ่มขึ้น และถูกปล่อยออกมามากเกินสมดุลจนทำให้เกิดแพลงก์ตอนพืชจำนวนมากซึ่งการควบคุมให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมนั้นทำได้ยาก และมักส่งผลเสียต่อการผลิตกุ้งในรอบต่อไป (พุทธ และคณะ 2553)

จากข้อเสียของการเตรียมบ่อแบบดั้งเดิมนี้ จึงทำให้มีเกษตรกรบางรายนำวิธีการเตรียมบ่อวิธีใหม่มาใช้โดยการปลูกสาหร่ายไส้ไก่ลงในบ่อเพื่อหมุนเวียนสารอาหารที่เหลือตกค้างในดินเลนก้นบ่อกลับมาเป็นอาหารของกุ้งในการเลี้ยงรอบใหม่ไม่ต้องมีการเอาเลนออกจากบ่อ ซึ่งการเตรียมบ่อโดยปลูกสาหร่ายไส้ไก่นี้เกษตรกรสามารถเลี้ยงกุ้งได้ดี กุ้งมีอัตราการเติบโตและอัตรารอดสูง (ประยูร และคณะ, 2549) ทั้งนี้จากการศึกษาผลของสาหร่ายไส้ไก่ (*Ulva intestinalis* Linnaeus) ต่อการผันแปรของตัวแปรมีชีวิต (Biotic factors) ในระบบนิเวศบ่อเลี้ยงกุ้งจำลองในบ่อน้ำกร่อยขนาดเล็ก พบว่า สาหร่ายไส้ไก่มีผลทำให้มีปริมาณแพลงก์ตอนสัตว์และสัตว์หน้าดินที่สามารถเป็นอาหารธรรมชาติของลูกกุ้งได้มากขึ้น และบทบาทสำคัญในการเป็นที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิตและแหล่งหากินของลูกกุ้งกุลาดำ (จริยา และคณะ, 2551; เพ็ญศรี และคณะ, 2554) การที่มีสาหร่ายไส้ไก่เป็นผลผลิตปฐมภูมิ และอาหารธรรมชาติอื่นๆ เช่น หนอนแดง โคพิพอด แสดงให้เห็นว่าสารอาหารเหลือตกค้างในตะกอนเลนพื้นบ่อสามารถถูกส่งผ่านไปยังอาหารธรรมชาติและหมุนเวียนกลับไปสู่ตัวกุ้งได้ อย่างไรก็ตามชนิดและปริมาณของสารอาหารที่ถูกหมุนเวียนในระบบนิเวศที่ปลูกสาหร่ายไส้ไก่เพื่อสร้างอาหารธรรมชาติสำหรับกุ้งยังไม่มีการการวิจัยและรายงานออกมาเพื่อใช้เป็นองค์ความรู้ในการพัฒนาการเลี้ยงกุ้งที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงเป็นประเด็นที่ต้องศึกษาเพื่อให้ทราบถึงเส้นทาง ชนิดและปริมาณสารอาหารเหล่านี้ที่หมุนเวียน และถูกนำกลับเข้ามาสู่ตัวกุ้งโดยผ่านการกินอาหาร เพื่อให้สามารถนำความรู้ที่ได้มาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาวิธีการเลี้ยงกุ้งที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและทำให้การเลี้ยงกุ้งกุลาดำเกิดความยั่งยืนต่อไป

วัตถุประสงค์

เพื่อใช้เทคนิคของการดุลสารอาหาร (Nutrient budget) เข้ามาประเมินปริมาณการเปลี่ยนแปลงและดุลของสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่หมุนเวียนในระบบนิเวศของบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำจำลองขนาดเล็กที่มีการให้อาหารแตกต่างกัน 3 รูปแบบ

อุปกรณ์และวิธีการ

1. สถานที่และการเตรียมบ่อทดลอง

ทำการศึกษาที่สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง โดยใช้บ่อจำลองกลางแจ้งขนาดเล็ก (microcosm) กว้าง 1.5 เมตร ยาว 1.5 เมตร สูง 0.7 เมตร จำนวน 9 บ่อ ที่สร้างจากการวางซ้อนถุงทรายเป็นคันบ่อและปูพื้นด้วยแผ่นพลาสติกใส จำลองให้มีระบบนิเวศคล้ายคลึงกับบ่อดิน

เลี้ยงกุ้งโดยนำดินเลนจากบริเวณกลางบ่อเลี้ยงกุ้งจากดำรงฟาร์มในอำเภอเทพา จังหวัดสงขลา ทำให้เป็นเนื้อเดียวกันแล้วตวงใส่ตรงกลางบ่อทดลองเท่ากันทุกบ่อ พื้นที่ 1 ตารางเมตร ความสูงของดิน 0.1 เมตร แล้วเติมน้ำทะเลความเค็ม 16 ส่วนในพันส่วน ครั้งแรกลงในบ่อๆ ละ 125 ลิตร หลังจากนั้นจึงคราดดินด้วยส้อมพรวนดินเพื่อเพิ่มออกซิเจนหน้าดิน (Boyd *et al*., 2002) และให้สารอาหารในดินเลนละลายออกมาในน้ำ ปล่อยไว้เป็นเวลา 1 สัปดาห์ แล้วจึงทำการคราดดินซ้ำอีกครั้งและปล่อยไว้ต่อไปอีก 1 สัปดาห์

2. การวางแผนการทดลอง

แบ่งการทดลองตามรูปแบบการให้อาหารออกเป็น 3 ชุดการทดลองๆ ละ 3 ซ้ำ ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 เลี้ยงกุ้งโดยไม่ให้อาหารสำเร็จรูป (T1)

ชุดการทดลองที่ 2 เลี้ยงกุ้งโดยให้อาหารเม็ดสำเร็จรูป (T2)

ชุดการทดลองที่ 3 เลี้ยงกุ้งไม่ให้อาหารสำเร็จรูปแต่ปลูกสาหร่ายไส้ไก่ (T3)

หลังจากเตรียมดินจนครบ 2 สัปดาห์แล้วจึงเริ่มปลูกสาหร่ายไส้ไก่ในชุดการทดลองที่ 3 ใน ปริมาณบ่อละ 60 กรัม (ความหนาแน่นเท่ากับ 27 ก./ตารางเมตร ซึ่งเป็นปริมาณความหนาแน่นที่ใกล้เคียงกับปริมาณที่เหมาะสมในบทที่ 4) ทิ้งไว้เป็นเวลา 2 สัปดาห์แล้ว จึงปล่อยลูกกุ้งกุลาดำระยะโพสต์ลาวาร์ (Postlarvar) 20 น้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 0.013 กรัม/ตัว ลงเลี้ยงในบ่อทดลองทุกบ่อ ๆ ละ 120 ตัว คิดเป็นความหนาแน่นประมาณ 53 ตัว/ตารางเมตร โดยในชุดการทดลองที่ 2 ให้อาหารเม็ดสำเร็จรูปยี่ห้อสตาร์ฟีด เบอร์ 2 ปริมาณ 1,000 กรัมต่อกุ้ง 100,000 ตัวต่อวันในเวลา 07.00, 11.00, 15.00 และ 19.00 น. (ดัดแปลงจากวิธีการให้อาหารลูกกุ้งกุลาดำที่ใช้ในดำรงฟาร์ม)

3. การเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่าง น้ำ ดินตะกอน อาหาร กุ้ง และสาหร่ายไส้ไก่

เก็บตัวอย่างน้ำในบ่อทดลองของแต่ละชุดการทดลอง เมื่อเริ่มเติมน้ำครั้งแรก และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง และเก็บตัวอย่างน้ำที่เติมในระหว่างการเลี้ยง จดบันทึกปริมาตรน้ำเริ่มต้นและน้ำที่เติมทั้งหมด นำตัวอย่างน้ำไปกรองผ่านกระดาษกรอง GF/C แล้วเก็บรักษาตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิ -20 °C เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณภาพน้ำในห้องปฏิบัติการ ดังนี้ วิเคราะห์ไนโตรเจนละลายน้ำรวม (Total dissolved nitrogen) ด้วยวิธีเปอร์ซัลเฟตออกซิเดชั่น (Hansen and Koroleff, 1999) แล้วนำไนโตรเจนที่ย่อยแล้วมาวิเคราะห์ในรูปไนเตรทด้วยวิธี Cadmium reduction method เพื่อรีดิวซ์ไนเตรทให้เป็นไนไตรท์ (APHA, 1985) แล้ววัดไนไตรท์ที่เกิดขึ้นด้วยวิธี Diazotization (Bendschneider and Robinson, 1952) วิเคราะห์ไนโตรเจนอินทรีย์ในตะกอนแขวนลอยจากตัวอย่างที่กรองด้วยกระดาษกรอง Whatman GF/F (เส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มม. ที่เผา Pre-combustion ที่ 450°C เป็นเวลา

4 ชม.) แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิสูง 950 °C โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ธาตุไนโตรเจน (CHN analyzer ยี่ห้อ LEGO รุ่น CHN-900) แล้วคำนวณไนโตรเจนทั้งหมด =ไนโตรเจนอินทรีย์ในตะกอนแขวนลอย + ไนโตรเจนละลายน้ำรวม วิเคราะห์ฟอสฟอรัสรวมโดยใช้ตัวอย่างน้ำที่ไม่ผ่านการกรองเอาตะกอนแขวนลอยออก โดยการย่อยน้ำตัวอย่างที่ผ่านการกรองแล้วด้วยวิธีเปอร์ซัลเฟตออกซิเดชั่น (Hansen and Koroleff, 1999) วิเคราะห์ฟอสฟอรัสละลายน้ำรวมแล้วนำตัวอย่างที่ย่อยแล้วไปวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสอนินทรีย์ละลายน้ำด้วยวิธี Phospho-molybdate (Strickland and Parsons, 1972) วัดค่าคลอโรฟิลล์ เอ (Chlorophyll *a*) โดยการกรองน้ำตัวอย่างด้วย Membrane filter (Satorious) แล้วนำกระดาษกรองไปแช่สกัดเอาคลอโรฟิลล์ เอ ออกมาด้วยสารละลายอะซิโตน 90% เป็นเวลาประมาณ 1 คืน นำไปวัดการดูดกลืนแสง และคำนวณปริมาณความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ เอ ตามวิธีของ Strickland และ Parsons (1972) คำนวณปริมาณไนโตรเจน (phytoplanktonic nitrogen) และ ปริมาณฟอสฟอรัส (phytoplanktonic phosphorus) ที่อยู่ในแพลงก์ตอนพืช โดยใช้สูตร

Particulate nitrogen(Y)= Phytoplantonic Nitrogen (b × X) + Nonphytoplantonic Nitrogen(a)
หรือ Y = 0.0054 × Chlorophyll a + 0.2285 (r^2 = 0.61) (เพ็ญศรี, ข้อมูลที่ไม่พิมพ์เผยแพร่)
ดังนั้น Phytoplantonic Nitrogen = 0.0054 × Chlorophyll a

และ

Particulate phosphorus(Y) = Phytoplantonic phosphorus(B × X) + Nonphytoplantonic phosphorus(a)
หรือ Y = 0.0007 × Chlorophyll a + 0.0373 (r^2 = 0.84) (เพ็ญศรี, ข้อมูลที่ไม่พิมพ์เผยแพร่)
ดังนั้น Phytoplantonic phosphorus = 0.0007 × Chlorophyll a

เก็บตัวอย่างดินตะกอนในบ่อทดลอง ณ เวลาเริ่มต้นและเมื่อสิ้นสุดการทดลอง นำไปวิเคราะห์ไนโตรเจนรวม (Total nitrogen: TN, Organic carbon: OC) ด้วยเครื่องวิเคราะห์ธาตุไนโตรเจนโดยนำตัวอย่างตะกอนเลนไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 70°C คัดเอาเศษเปลือกหอยออก นำตัวอย่างไปบดเป็นเนื้อเดียวกัน ชั่งตัวอย่างประมาณ 8-10 มก. แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 950°C และวัดปริมาณไนโตรเจนที่ถูกเผาจนเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของ N_2 ด้วยเครื่องวิเคราะห์ธาตุไนโตรเจน (CHN analyzer ยี่ห้อ LEGO รุ่น CHN-900) วิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสรวม (Total phosphorus : TP) โดยนำดินเลนที่ผ่านการเผาไล่สารอินทรีย์ ที่อุณหภูมิ 550°C เป็นเวลา 4 ชม. เพื่อเปลี่ยน

สารประกอบฟอสฟอรัสต่างๆให้อยู่ในรูปเกลือฟอสเฟต และนำดินเลนที่เผาแล้วมาละลายด้วยน้ำกลั่นและปรับพีเอชให้ได้ประมาณ 3 นำสารละลายดังกล่าวมาวิเคราะห์ฟอสฟอรัสอนินทรีย์ ด้วยวิธีการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น คำนวณกลับเป็นปริมาณในดินเลนโดยเทียบจากน้ำหนักดินเลนเผาและดินเผาแล้วที่นำมาละลายเพื่อการวิเคราะห์โดยใช้หน่วยเป็น มก.ฟอสฟอรัส/กก.ดินแห้ง

เก็บตัวอย่างอาหารและจดบันทึกปริมาณอาหารที่ให้กุ้งกินทั้งหมดตลอดการเลี้ยงในชุดการทดลองที่ให้อาหารเม็ดสำเร็จรูป เก็บตัวอย่างสาหร่ายไส้ไก่และจดบันทึกน้ำหนักเริ่มต้นและน้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลอง แล้วบันทึกผลผลิตกุ้งที่ได้และเก็บตัวอย่างกุ้งเพื่อนำไปวัดความชื้น และวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนรวม ฟอสฟอรัสรวมในตัวอย่างอาหาร เนื้อกุ้งและสาหร่ายด้วยวิธีการเดียวกับการวิเคราะห์ตัวอย่างตะกอนดิน

4. การวัดค่าการดูดซึมสารอาหารของสาหร่ายไส้ไก่และแพลงก์ตอนพืช

วัดค่าการดูดซึมสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสไปใช้ของสาหร่าย (gutweed assimilation) โดยการเก็บน้ำในบ่อทดลองแต่ละบ่อ นำมากรองผ่านกระดาษกรอง GF/C แล้วดูดใส่ในขวดบีโอดีโดยไม่ให้เกิดฟองอากาศ ใส่สาหร่ายไส้ไก่ลงไปในขวดบีโอดีดังกล่าวขวดละ 1.0 กรัม และวัดค่าการดูดซึมสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสไปใช้ของแพลงก์ตอนพืช (phytoplankton assimilation) โดยใช้ตัวอย่างน้ำในบ่อทดลองแต่ละบ่อมาใส่ในขวดบีโอดีโดยไม่กรองผ่านกระดาษกรอง GF/C และใช้ขวดบีโอดีที่เติมน้ำกรองแต่ไม่มีสาหร่ายไส้ไก่เป็นขวดควบคุม จากนั้นปิดฝาขวดให้สนิทแล้วนำไปบ่มในบ่อทดลองเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดนำน้ำในขวดทั้งหมดไปกรองผ่านกระดาษกรอง GF/C แล้วเก็บรักษาตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิ -20 °C เพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบไนโตรเจนละลายน้ำ (TDN) และฟอสฟอรัสละลายน้ำ (TDP) แล้วจึงนำค่าที่ได้มาคำนวณอัตราการดูดซึมสารอาหารไปใช้ ดังนี้

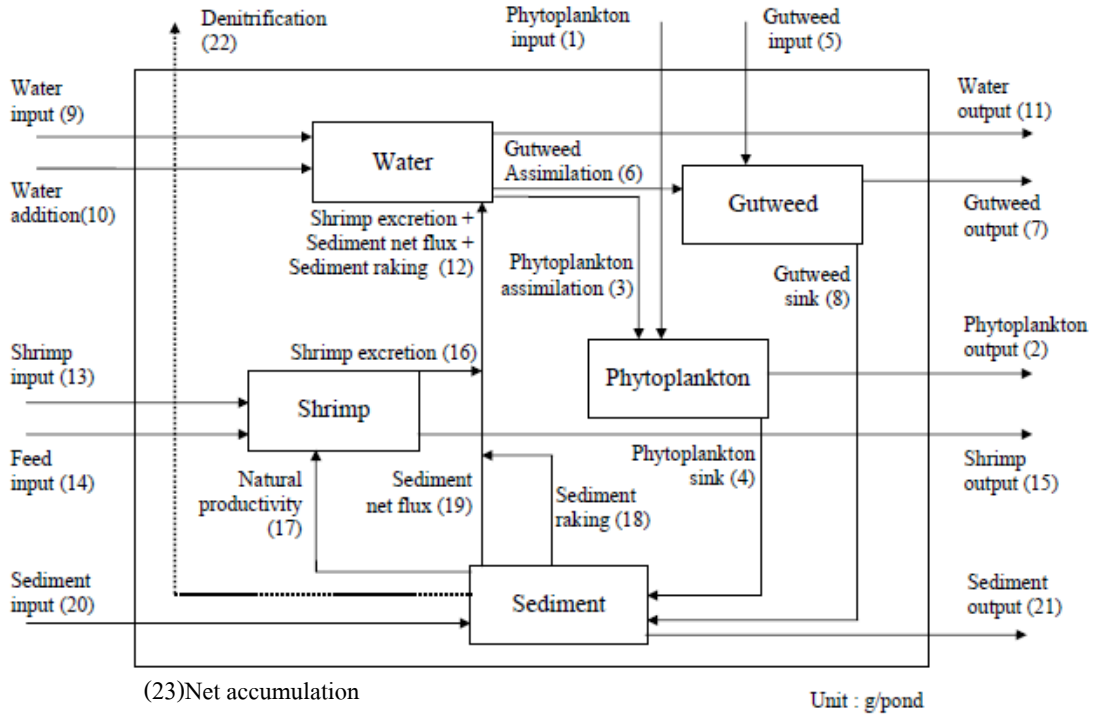
$$\text{อัตราการดูดสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของสาหร่าย (ก./ก. สาหร่าย/วัน)} = \frac{(\text{TDN, TDPในขวดบ่มสาหร่าย} - \text{TDN,TDP ในขวดควบคุม}) \times 300}{1000}$$

และ

$$\text{อัตราการดูดสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของแพลงก์ตอนพืช (ก./วัน)} = \frac{(\text{TDN, TDPในขวดบ่มตัวอย่างน้ำไม่กรอง} - \text{TDN,TDP ในขวดควบคุม}) \times 300}{1000}$$

5. การคำนวณดุลไนโตรเจนและฟอสฟอรัส

การศึกษาครั้งนี้ใช้ static model คำนวณดุลไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่เข้าและออกจากหน่วยย่อย 5 หน่วย คือ น้ำ (Water) กุ้ง (Shrimp) แพลงก์ตอนพืช (Phytoplankton) สาหร่ายไส้ไก่ (Gutweed) และดินเลน (Sediment) ตลอดการศึกษาเพื่อประเมินปริมาณและเส้นทางของสารประกอบดังกล่าวที่ผ่านหน่วยย่อยต่าง ๆ โดยกำหนดให้ปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่เข้าเมื่อเริ่มต้นการเลี้ยงและออกจากแต่ละหน่วยย่อยเมื่อสิ้นสุดการเลี้ยงมีค่าเท่ากัน (รูปที่ 6-1) คำนวณดุลจากค่าเฉลี่ยของการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่เกิดขึ้นในแต่ละกระบวนการจากบ่อทดลองในชุดการทดลองเดียวกันชุดการทดลองละ 3 บ่อ



รูปที่ 6-1 ดุลไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ หน่วยย่อยในระบบคือ น้ำ (Water) กุ้ง (Shrimp) แพลงก์ตอนพืช (Phytoplankton) สาหร่ายไส้ไก่ (Gutweed) และดินเลน (Sediment) เลขในวงเล็บเป็นเลขตัวแทนแต่ละกระบวนการที่เกิดขึ้นในระบบนิเวศ เส้นประ (22) เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นเฉพาะการเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนเท่านั้น

5.1 หน่วยย่อยแพลงก์ตอนพืช (phytoplankton) สมการดุลของสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัส เข้าสู่หน่วยย่อยแพลงก์ตอนพืช คือ (1) + (3) = (2) + (4) โดย

N,P phytoplankton input (1)	=	ปริมาณน้ำที่ใส่เข้าไปเมื่อเริ่มต้นการทดลอง × ความเข้มข้นเฉลี่ยของ ไนโตรเจนรวม (TN) และฟอสฟอรัสรวม (TP) ในแพลงก์ตอนพืช
N,P phytoplankton output (2)	=	ปริมาณน้ำที่เหลืออยู่ในบ่อเมื่อสิ้นสุดการทดลอง × ความเข้มข้นเฉลี่ยของ ไนโตรเจนรวม (TN) และฟอสฟอรัสรวม (TP) ในแพลงก์ตอนพืช
N,P phytoplankton assimilation (3)	=	ความเข้มข้นของไนโตรเจนละลายน้ำ (TDN) และฟอสฟอรัสละลายน้ำ (TDP) ที่ถูกดูดซึมโดยแพลงก์ตอนพืช ขณะบ่มเป็นเวลา 1 วัน × ระยะเวลาทดลอง (วัน)
N,P phytoplankton sink (4)	=	(N,P phytoplankton input + N,P phytoplankton assimilation) - N,P phytoplankton output

5.2 หน่วยย่อยสาหร่ายไส้ไก่ (Gutweed) คำนวณเฉพาะบ่อ T3 ที่มีการปลูกสาหร่ายไส้ไก่ สมการดุลสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่เข้าสู่หน่วยย่อยนี้ คือ (5) + (6) = (7) + (8) โดย

N,P gutweed input (5)	=	น้ำหนักสาหร่ายที่ปลูกลงไปเมื่อเริ่มต้นการทดลอง × ความเข้มข้นเฉลี่ยของ ไนโตรเจนรวม (TN) และฟอสฟอรัสรวม (TP)
N,P gutweed assimilation (6)	=	น้ำหนักสาหร่ายไส้ไก่ในบ่อทดลอง ณ เวลาบ่ม × ความเข้มข้นของไนโตรเจนละลายน้ำ (TDN) และฟอสฟอรัสละลายน้ำ (TDP) ที่ถูกดูดซึมโดยสาหร่ายไส้ไก่ 1 กรัม ขณะบ่มเป็นเวลา 1 วัน × ระยะเวลาทดลอง
N,P gutweed output (7)	=	น้ำหนักสาหร่ายเมื่อสิ้นสุดการทดลอง × ความเข้มข้นเฉลี่ยของ ไนโตรเจนรวม (TN) และฟอสฟอรัสรวม (TP)
N,P gutweed sink (8)	=	(N,P gutweed input + N,P gutweed assimilation) – N,P gutweed output

5.3 หน่วยย่อยน้ำ (water) สมการดุลสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัส เข้าสู่หน่วยย่อยนี้ คือ (9) + (10) + (12) = (3) + (6) + (11) โดย

N,P water input (9)	=	ปริมาณน้ำที่ใส่เข้าไปเมื่อเริ่มต้นการทดลอง × ความเข้มข้นเฉลี่ยของ ไนโตรเจนรวม (TN) และฟอสฟอรัสรวม (TP)
N,P water addition (10)	=	ปริมาณน้ำที่เติมเข้าไปในระหว่างการทดลอง × ความเข้มข้นเฉลี่ยของ ไนโตรเจนรวม (TN) และฟอสฟอรัสรวม (TP)
N,P (shrimp excretion + sediment net flux+ sediment raking) (12)	=	N,P (Gutweed assimilation + phytoplankton assimilation + water output) – N,P (water input + water addition)
N,P phytoplankton assimilation (3)	=	ค่า (3) ที่ได้จากหน่วยย่อยแพลงก์ตอนพืช
N,P gutweed assimilation (6)	=	ค่า (6) ที่ได้จากหน่วยย่อยแพลงก์ตอนพืช
N,P water output (11)	=	ปริมาณน้ำที่เหลืออยู่ในบ่อเมื่อสิ้นสุดการทดลอง × ความเข้มข้นเฉลี่ยของไนโตรเจนรวม (TN) และฟอสฟอรัสรวม (TP)

5.4 หน่วยย่อยกุ้ง (Shrimp) สมการดุลสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัส เข้าสู่หน่วยย่อยนี้ คือ (13) + (14) + (17) = (15) + (16) โดย

N,P shrimp input (13)	=	น้ำหนักกุ้งที่ปล่อยลงไปเมื่อเริ่มต้นการทดลอง × ความเข้มข้นเฉลี่ยของไนโตรเจนรวม (TN) และฟอสฟอรัสรวม (TP)
N,P feed input (14)	=	น้ำหนักอาหารที่ให้กุ้งกินตลอดการทดลอง × ความเข้มข้นเฉลี่ยของไนโตรเจนรวม (TN) และฟอสฟอรัสรวม (TP)
N,P natural productivity (17)	=	N,P (shrimp output + shrimp excretion) – N,P (shrimp input + feed input)
N,P shrimp output (15)	=	น้ำหนักกุ้งทั้งหมดเมื่อสิ้นสุดการทดลอง × ความเข้มข้นเฉลี่ยของ ไนโตรเจนรวม (TN) และฟอสฟอรัสรวม (TP)

N,P shrimp excretion (16) = (N,P shrimp output × % N,P excretion) / (100-% N,P excretion) โดยใช้ค่าการขับถ่ายไนโตรเจนเท่ากับ 75%. (Burford and Lorenzen, 2004) และการขับถ่ายฟอสฟอรัสเท่ากับ 2% (Ambasankar *et al*., 2006)

5.5 หน่วยย่อยดินเลน (Sediment) สมการดุลสารประกอบไนโตรเจนที่เข้าสู่หน่วยย่อยนี้ คือ (4) + (8) + (20) = (17) + (18) + (19) + (21) +(22) และสมการดุลสารประกอบฟอสฟอรัสเข้าสู่หน่วยย่อยนี้ คือ (4) + (8) + (20) = (17) + (18) + (19) + (21)

N,P sediment raking (18) = ความเข้มข้นของไนโตรเจนละลายน้ำ (TDN) และฟอสฟอรัสละลายน้ำ (TDP) ที่เพิ่มขึ้นหลังจากการคราดดินเลน

N,P sediment net flux (19) = N,P (shrimp excretion + sediment net flux+ sediment raking) (12) – N,P (shrimp excretion + sediment raking)

N,P sediment input (20) = ปริมาณเลนที่ใส่เข้าไปเมื่อเริ่มต้นการทดลอง × ความเข้มข้นเฉลี่ยของ ไนโตรเจนรวม (TN) และฟอสฟอรัสรวม (TP)

N,P sediment output (21) = ปริมาณเลนที่เหลืออยู่ในบ่อเมื่อสิ้นสุดการทดลอง × ความเข้มข้นเฉลี่ยของ ไนโตรเจนรวม (TN) และฟอสฟอรัสรวม (TP)

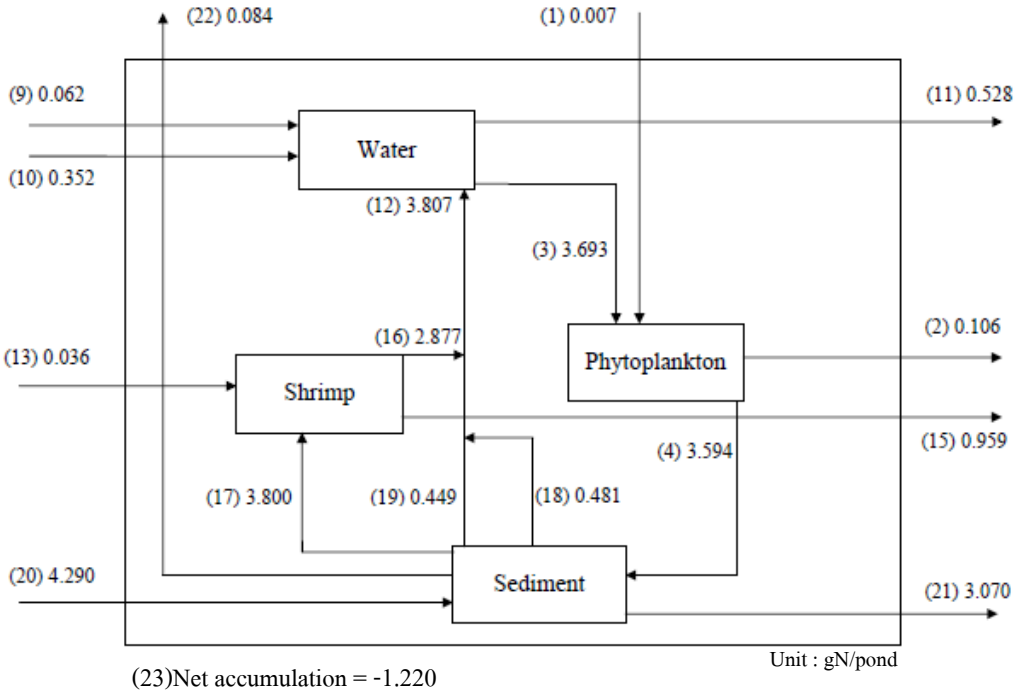
Denitrification (22) = N (sediment input + phytoplankton sink + gutweed sink) - N (sediment raking + sediment net flux + natural productivity + sediment output)

Net N,P accumulation (23) = ปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในดินเริ่มต้น – ปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในดินเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

ผลการทดลอง

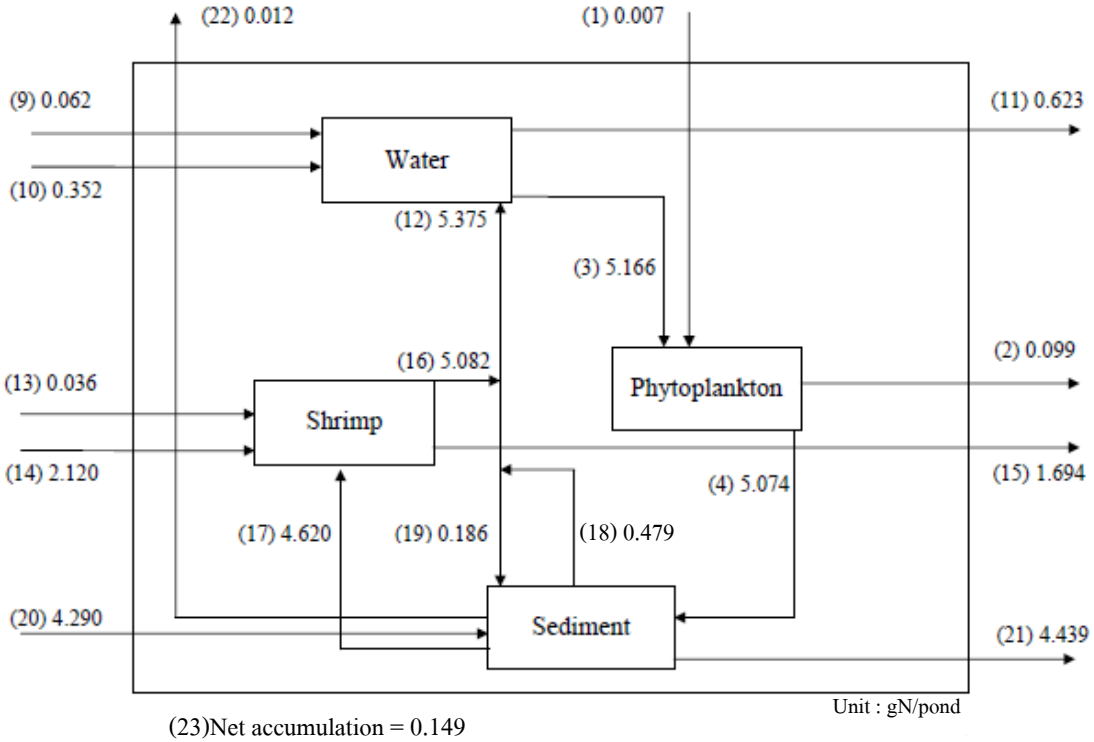
ดุลไนโตรเจน

ผลการเลี้ยงกุ้งเป็นเวลา 5 สัปดาห์ พบว่า ในบ่อที่เลี้ยงกุ้งโดยไม่ให้อาหารเม็ดสำเร็จรูป (T1) ไนโตรเจนที่เข้าสู่บ่อเลี้ยงมาจากน้ำที่เติมเมื่อเริ่มต้นและน้ำที่เติมในระหว่างการเลี้ยง รวมทั้ง กุ้ง แพลงก์ตอนพืช และดินเลนเมื่อเริ่มต้น โดยมีค่าเท่ากับ 0.062, 0.352, 0.036, 0.007 และ 4.290 กรัมต่อบ่อ ตามลำดับ ส่วนไนโตรเจนออกจากบ่อเลี้ยงคำนวนจาก น้ำ แพลงก์ตอนพืช กุ้ง ดินเลน และจากกระบวนการดีไนตริฟิเคชั่นเมื่อเสร็จสิ้นการทดลอง โดยมีค่าเท่ากับ 0.528, 0.106, 0.959, 3.070 และ 0.084 กรัมต่อบ่อ ตามลำดับ โดยเมื่อพิจารณาหน่วยย่อยแพลงก์ตอนพืช พบว่ามีปริมาณการดูดซึมไนโตรเจนจากน้ำไปใช้เท่ากับ 3.693 กรัมต่อบ่อ และมีปริมาณไนโตรเจนจากแพลงก์ตอนพืชที่ตกสู่ดินเลน เท่ากับ 3.594 กรัมต่อบ่อ และหน่วยย่อยกุ้งได้รับไนโตรเจนจากดินเลนในรูปของผลผลิตธรรมชาติ (natural productivity) เท่ากับ 3.800 กรัมต่อบ่อ และมีการขับถ่ายไนโตรเจนออกสู่น้ำ เท่ากับ 2.877 กรัมต่อบ่อ โดยที่เมื่อรวมกับปริมาณการปลดปล่อยไนโตรเจนสุทธิจากดินและการปล่อยไนโตรเจนจากการคราดดิน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.449 และ0.481 กรัมต่อบ่อ ตามลำดับ ทำให้มีไนโตรเจนเข้าสู่หน่วยย่อยน้ำ เท่ากับ 3.807 กรัมต่อบ่อ ซึ่งในระบบนี้มีการสะสมไนโตรเจนในดินสุทธิ เท่ากับ -1.220 กรัมต่อบ่อ (รูปที่ 6-2)



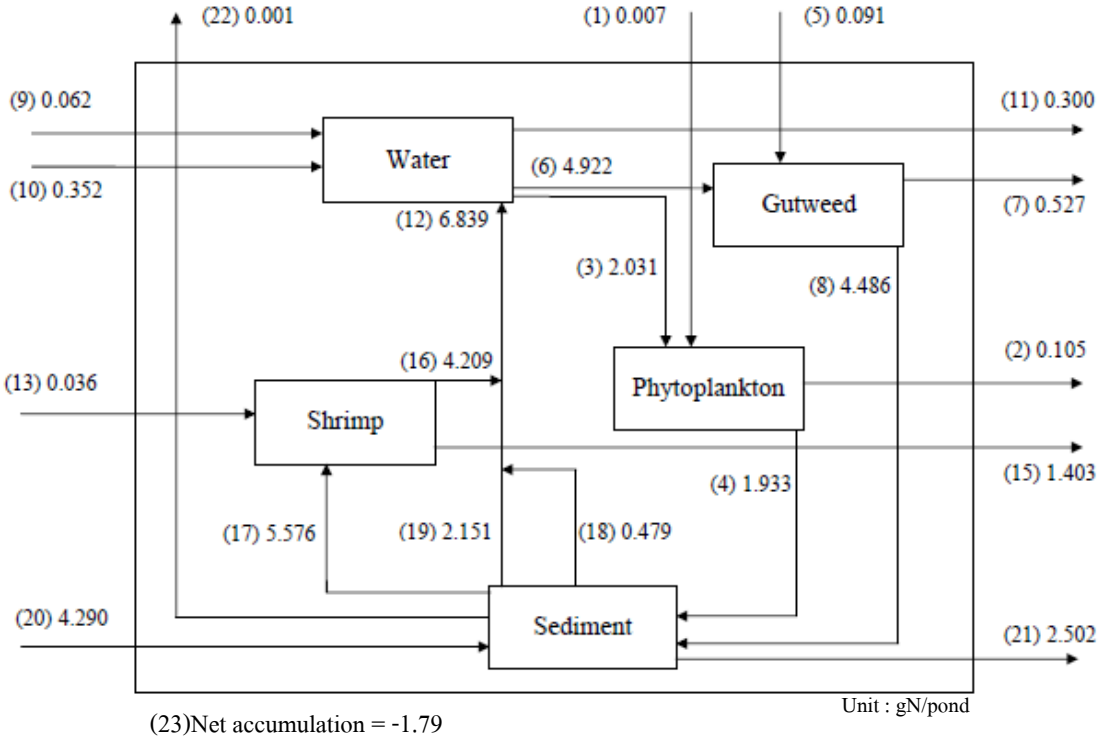
รูปที่ 6-2 ดุลไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงโดยไม่ให้อาหารเม็ดสำเร็จรูป (T1)

ในบ่อที่เลี้ยงกุ้งโดยให้อาหารเม็ดสำเร็จรูป (T2)ไนโตรเจนเข้าสู่บ่อเลี้ยงจากน้ำที่เติมเมื่อเริ่มต้นและน้ำที่เติมในระหว่างการเลี้ยง รวมทั้ง กุ้ง แพลงก์ตอนพืช และดินเลนเมื่อเริ่มต้นเท่ากับปริมาณที่เข้าสู่บ่อที่เลี้ยงโดยไม่ให้อาหารเม็ดสำเร็จรูป (T1) และมีปริมาณไนโตรเจนเข้าสู่บ่อจากอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่ให้กุ้งกินเท่ากับ 2.120 กรัมต่อบ่อ ส่วนไนโตรเจนที่ออกจากบ่อเลี้ยงคำนวณจากน้ำ แพลงก์ตอนพืช กุ้ง ดินเลน และจากกระบวนการดีไนตริฟิเคชั่นเมื่อเสร็จสิ้นการทดลอง โดยมีค่าเท่ากับ 0.623, 0.099, 1.694, 4.439 และ 0.012 กรัมต่อบ่อ ตามลำดับ โดยเมื่อพิจารณาหน่วยย่อยแพลงก์ตอนพืช พบว่า มีปริมาณการดูดซึมไนโตรเจนจากน้ำไปใช้เท่ากับ 5.166 กรัมต่อบ่อ และไนโตรเจนจากแพลงก์ตอนที่ตกสู่ดินเลนเท่ากับ 5.074 กรัมต่อบ่อ ในหน่วยย่อยกุ้งได้รับไนโตรเจนจากดินเลนในรูปของผลผลิตธรรมชาติ เท่ากับ 4.620 กรัมต่อบ่อ และจากอาหารเท่ากับ 2.120 รวมทั้งสิ้นเท่ากับ 6.740 กรัมต่อบ่อ โดยทำให้กุ้งมีการขับถ่ายไนโตรเจนออกสู่น้ำเท่ากับ 5.082 กรัมต่อบ่อ โดยที่เมื่อรวมกับปริมาณการปลดปล่อยไนโตรเจนจากการคราดดินซึ่งมีปริมาณเท่ากับ 0.480 กรัมต่อบ่อ ทำให้มีไนโตรเจนเข้าสู่หน่วยย่อยน้ำเพียง 5.375 กรัมต่อบ่อ แต่มีไนโตรเจนถูกดูดกลับสู่ดินเลนใหม่อีกครั้งเท่ากับ 0.186 กรัมต่อบ่อ ซึ่งในระบบนี้ทำให้มีไนโตรเจนสะสมในดินเลนสุทธิ เท่ากับ 0.149 กรัมต่อบ่อ แตกต่างจากระบบนิเวศที่ไม่ได้ให้อาหารสำเร็จรูป (รูปที่ 6-3)



รูปที่ 6-3 ดุลไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงโดยให้อาหารเม็ดสำเร็จรูป (T2)

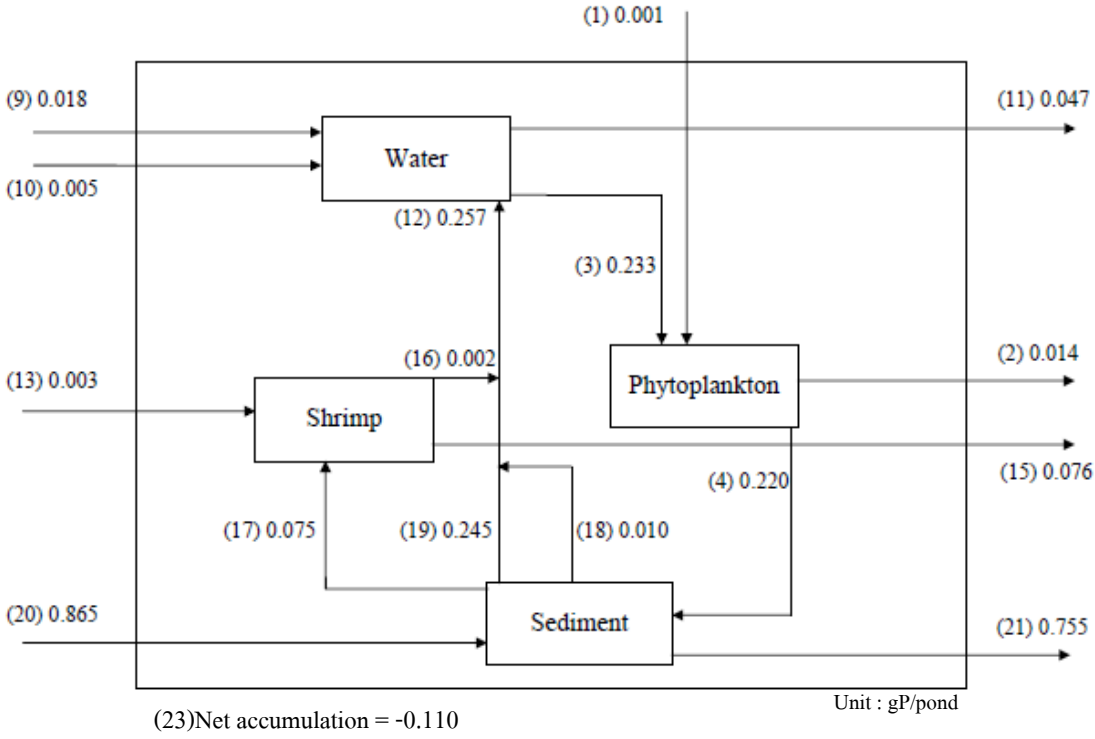
สำหรับในบ่อที่เลี้ยงกุ้งโดยไม่ให้อาหารสำเร็จรูปแต่ปลูกสาหร่ายไส้ไก่ (T3) ไนโตรเจนเข้าสู่บ่อเลี้ยงจากน้ำที่เติมเมื่อเริ่มต้นและน้ำที่เติมในระหว่างการเลี้ยง รวมทั้ง กุ้ง แพลงก์ตอนพืช และดินเลนเริ่มต้นเท่ากับปริมาณที่เข้าสู่บ่อ T1 และ T2 และมีปริมาณไนโตรเจนจากสาหร่ายไส้ไก่เมื่อเริ่มต้น เท่ากับ 0.091 กรัมต่อบ่อ ส่วนไนโตรเจนออกจากบ่อเลี้ยงคำนวณได้จากน้ำ แพลงก์ตอนพืช กุ้ง ดินเลน สาหร่ายไส้ไก่และจากกระบวนการดีไนตริฟิเคชั่นเมื่อเสร็จสิ้นการทดลอง โดยมีค่าเท่ากับ 0.300, 0.105, 1.403, 2.502 0.527 และ 0.001 กรัมต่อบ่อ ตามลำดับ โดยเมื่อพิจารณาหน่วยย่อยแพลงก์ตอนพืช พบว่า มีปริมาณการดูดซึมไนโตรเจนจากน้ำไปใช้เพียง 2.031 กรัมต่อบ่อ และมีปริมาณไนโตรเจนตกสู่ดินเลนเท่ากับ 1.993 กรัมต่อบ่อ ส่วนการดูดซึมไนโตรเจนจากน้ำของหน่วยย่อยสาหร่ายไส้ไก่ พบว่ามีปริมาณสูงถึง 4.922 กรัมต่อบ่อ และมีปริมาณไนโตรเจนตกสู่ดินเลนเท่ากับ 4.486 กรัมต่อบ่อ สูงกว่าการดูดซึมของไนโตรเจนโดยแพลงก์ตอนพืชเกือบ 2 เท่า สำหรับหน่วยย่อยกุ้งได้รับไนโตรเจนจากผลผลิตธรรมชาติ เท่ากับ 5.576 กรัมต่อบ่อ และมีการขับถ่ายไนโตรเจนออกสู่น้ำ เท่ากับ 4.209 กรัมต่อบ่อ โดยที่เมื่อรวมกับปริมาณการปลดปล่อยไนโตรเจนสุทธิจากดินและไนโตรเจนจากการคราดดินซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.151 และ0.479 กรัมต่อบ่อตามลำดับ ทำให้มีไนโตรเจนเข้าสู่หน่วยย่อยน้ำ เท่ากับ 6.839 กรัมต่อบ่อ ในระบบนี้มีการสะสมไนโตรเจนในดินเลนเท่ากับ -1.790 กรัมต่อบ่อ (รูปที่ 6-4)



รูปที่ 6-4 ดุลไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงโดยไม่ให้อาหารเม็ดสำเร็จรูปแต่ปลูกสาหร่ายไส้ไก่ (T3)

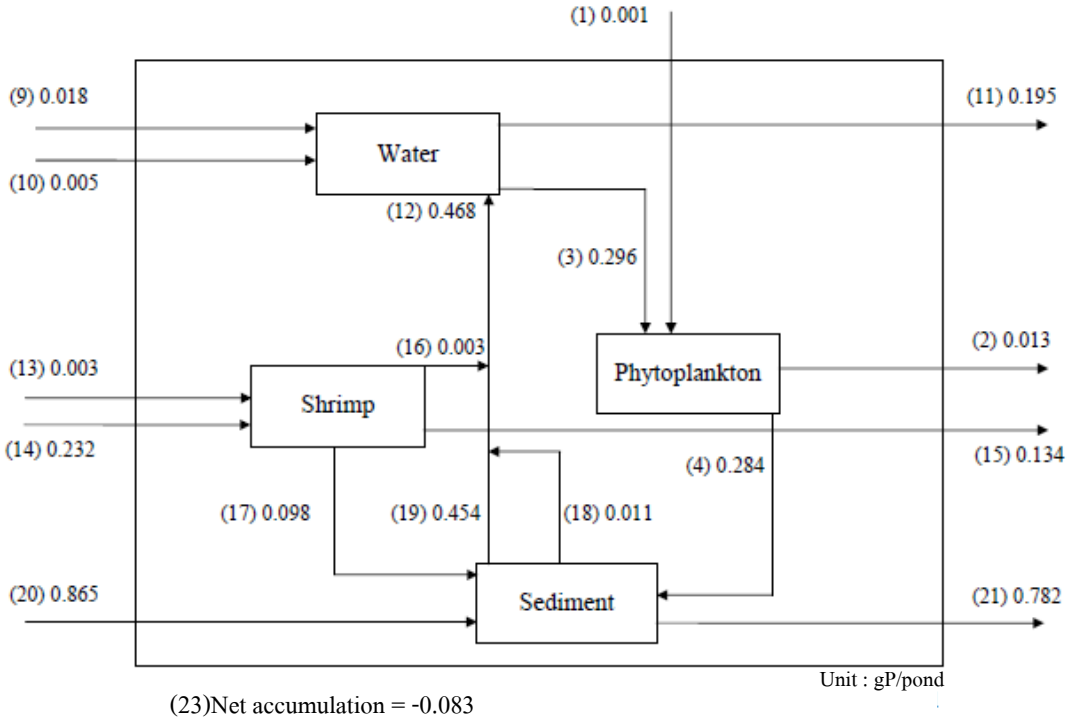
ดุลฟอสฟอรัส

ผลการทดลองพบว่า บ่อเลี้ยงกุ้งที่ไม่ให้อาหารเม็ดสำเร็จรูป (T1) มีฟอสฟอรัสที่เข้าสู่บ่อเลี้ยงมาจาก น้ำที่เติมเมื่อเริ่มต้นและน้ำที่เติมในระหว่างการเลี้ยง รวมทั้งกุ้ง แพลงก์ตอนพืช และดินเลนเมื่อเริ่มต้น โดยมีค่าเท่ากับ 0.018, 0.005, 0.003, 0.001 และ 0.865 กรัมต่อบ่อ ตามลำดับ ส่วนฟอสฟอรัสออกจากบ่อเลี้ยงคำนวณจาก น้ำ แพลงก์ตอนพืช กุ้ง และดินเลนเมื่อเสร็จสิ้นการทดลอง โดยมีค่าเท่ากับ 0.047, 0.014, 0.076 และ 0.755 กรัมต่อบ่อ ตามลำดับ โดยเมื่อพิจารณาหน่วยย่อยแพลงก์ตอนพืช พบว่า มีปริมาณการดูดซึมฟอสฟอรัสจากน้ำไปใช้ เท่ากับ 0.233 กรัมต่อบ่อ และมีปริมาณฟอสฟอรัสจากแพลงก์ตอนพืชที่ตกสู่ดินเลน เท่ากับ 0.220 กรัมต่อบ่อ และหน่วยย่อยกุ้งได้รับฟอสฟอรัสจากดินเลนในรูปของผลผลิตธรรมชาติ เท่ากับ 0.075 กรัมต่อบ่อ และมีการขับถ่ายฟอสฟอรัสออกสู่น้ำ เท่ากับ 0.002 กรัมต่อบ่อ โดยที่เมื่อรวมกับปริมาณการปลดปล่อยฟอสฟอรัสสุทธิจากดินและการปล่อยฟอสฟอรัสจากการคราดดิน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.245 และ0.010 กรัมต่อบ่อตามลำดับ ทำให้มีฟอสฟอรัสเข้าสู่หน่วยย่อยน้ำ เท่ากับ 0.257 กรัมต่อบ่อ ซึ่งในระบบนี้มีการสะสมฟอสฟอรัส ในดินสุทธิ เท่ากับ -0.110 กรัมต่อบ่อ (รูปที่ 6-5)



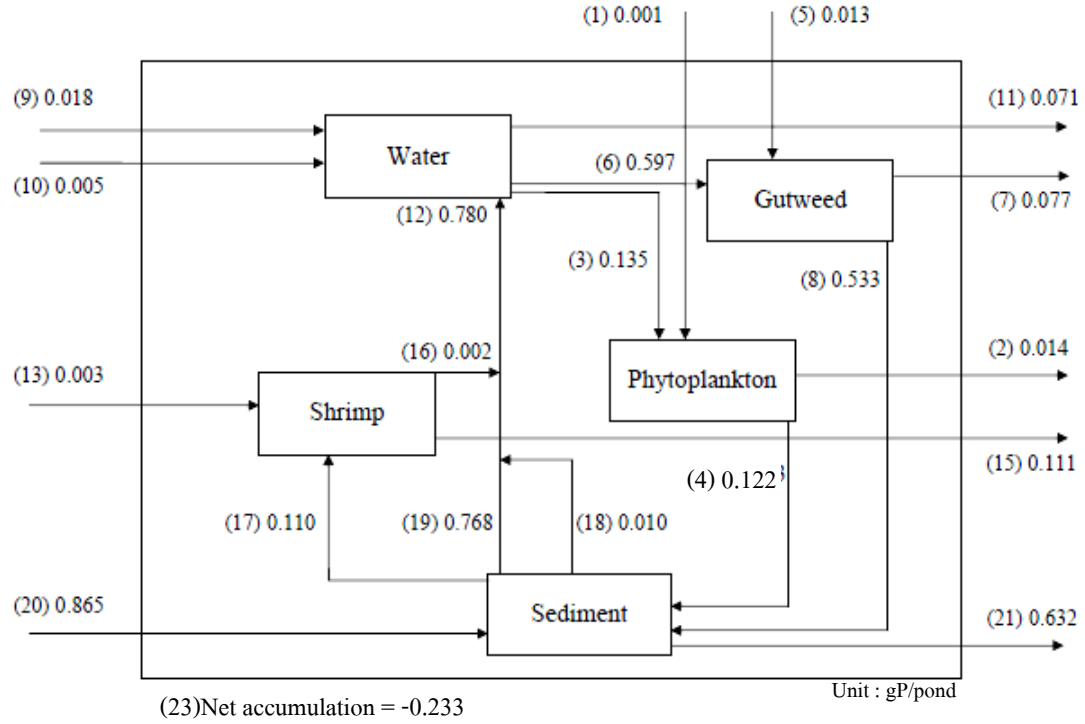
รูปที่ 6-5 ดุลฟอสฟอรัสในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงโดยไม่ให้อาหารเม็ดสำเร็จรูป (T1)

ในบ่อที่เลี้ยงกุ้งโดยให้อาหารเม็ดสำเร็จรูป (T2) ฟอสฟอรัสเข้าสู่บ่อเลี้ยงจากน้ำที่เติมเมื่อเริ่มต้นและน้ำที่เติมในระหว่างการเลี้ยง รวมทั้ง กุ้ง แพลงก์ตอนพืช และดินเลนเริ่มต้นเท่ากับปริมาณที่เข้าสู่บ่อที่เลี้ยงโดยไม่ให้อาหารเม็ดสำเร็จรูป (T1) รวมทั้งมีปริมาณฟอสฟอรัสเข้าสู่บ่อจากอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่ให้กุ้งกิน เท่ากับ 0.232 กรัมต่อบ่อ ส่วนฟอสฟอรัสออกจากบ่อเลี้ยงคำนวณจาก น้ำแพลงก์ตอนพืช กุ้ง และดินเลนเมื่อเสร็จสิ้นการทดลอง โดยมีค่าเท่ากับ 0.195, 0.013, 0.134 และ 0.782 กรัมต่อบ่อ ตามลำดับ โดยเมื่อพิจารณาหน่วยย่อยแพลงก์ตอนพืช พบว่า มีปริมาณการดูดซึมฟอสฟอรัสจากน้ำไปใช้ เท่ากับ 0.296 กรัมต่อบ่อ และฟอสฟอรัสจากแพลงก์ตอนที่ตกสู่ดินเลนเท่ากับ 0.284 กรัมต่อบ่อ ในหน่วยย่อยกุ้งมีการขับถ่ายฟอสฟอรัสออกสู่น้ำ เท่ากับ 0.003 กรัมต่อบ่อ โดยที่เมื่อรวมกับปริมาณการปลดปล่อยฟอสฟอรัสสุทธิจากดินและฟอสฟอรัสจากการคราดดินซึ่งมีปริมาณเท่ากับ 0.454 และ 0.011 กรัมต่อบ่อ ทำให้มีฟอสฟอรัสเข้าสู่หน่วยย่อยน้ำ เท่ากับ 0.468 กรัมต่อบ่อ และมีฟอสฟอรัสจากระบบย่อยกุ้งตกค้างและสะสมกลับคืนสู่ดินเลนเท่ากับ 0.098 กรัมต่อบ่อ ซึ่งในระบบนี้ทำให้มีฟอสฟอรัสสะสมในดินเลนสุทธิ เท่ากับ -0.083 กรัมต่อบ่อ (รูปที่ 6-6)



รูปที่ 6-6 ดุลฟอสฟอรัสในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงโดยให้อาหารเม็ดสำเร็จรูป (T2)

สำหรับในบ่อเลี้ยงกุ้งที่ปลูกสาหร่ายไส้ไก่ (T3) ฟอสฟอรัสเข้าสู่บ่อเลี้ยงจากน้ำที่เติมเมื่อเริ่มต้นและน้ำที่เติมในระหว่างการเลี้ยง รวมทั้งกุ้ง แพลงก์ตอนพืช และดินเลนเริ่มต้นเท่ากับปริมาณที่เข้าสู่บ่อ T1 และ T2 และมีปริมาณไนโตรเจนจากสาหร่ายไส้ไก่เมื่อเริ่มต้น เท่ากับ 0.013 กรัมต่อบ่อ ส่วนฟอสฟอรัสออกจากบ่อเลี้ยงคำนวณจาก น้ำ แพลงก์ตอนพืช กุ้ง ดินเลนและสาหร่ายไส้ไก่ทั้งหมดเมื่อเสร็จสิ้นการทดลองโดยมีค่าเท่ากับ 0.071, 0.014, 0.111, 0.632 และ 0.077 กรัมต่อบ่อ ตามลำดับ โดยเมื่อพิจารณาหน่วยย่อยแพลงก์ตอนพืช พบว่า มีปริมาณการดูดซึมฟอสฟอรัสจากน้ำไปใช้ เท่ากับ 0.135 กรัมต่อบ่อ และมีปริมาณฟอสฟอรัสตกสู่ดินเลนเท่ากับ 0.123 กรัมต่อบ่อ หน่วยย่อยกุ้งได้รับฟอสฟอรัสจากผลผลิตธรรมชาติ เท่ากับ 0.110 กรัมต่อบ่อ และมีการขับถ่ายฟอสฟอรัสออกสู่น้ำ เท่ากับ 0.002 กรัมต่อบ่อ โดยที่เมื่อรวมกับปริมาณการปลดปล่อยฟอสฟอรัสสุทธิจากดินและฟอสฟอรัสจากการคราดดินซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.768 และ0.010 กรัมต่อบ่อ ตามลำดับ ทำให้มีไนโตรเจนเข้าสู่หน่วยย่อยน้ำ เท่ากับ 0.780 กรัมต่อบ่อ ในระบบนี้มีการสะสมฟอสฟอรัสในดินเลนเท่ากับ -0.233 กรัมต่อบ่อ (รูปที่ 6-7)



รูปที่ 6-7 ดุลฟอสฟอรัสในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงโดยไม่ให้อาหารเม็ดสำเร็จรูปแต่ปลูกสาหร่ายไส้ไก่ (T3)

ปริมาณการหมุนเวียนสารอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากดินสู่กุ้ง

ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสหมุนเวียนจากดินสู่ตัวกุ้งผ่านทางผลผลิตธรรมชาติมากที่สุดในชุดการทดลอง T3 โดยมีปริมาณ เท่ากับ 5.576 และ 0.110 กรัมต่อบ่อ หรือเท่ากับ 129.98 และ 12.72% เมื่อเทียบกับไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในดิน ทำให้ได้ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในรูปของผลผลิตกุ้ง เท่ากับ 1.403 และ 0.111 กรัมต่อบ่อ หรือเท่ากับ 32.70 และ12.83% ของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในดิน ขณะที่ในชุดการทดลอง T1 มีปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่หมุนเวียนผ่านทางผลผลิตธรรมชาติ เพียง 3.800 และ 0.0.075 กรัมต่อบ่อ หรือ เท่ากับ 88.58 และ 8.67% เมื่อเทียบกับไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในดิน ซึ่งได้ไนโตรเจนในรูปของผลผลิตกุ้ง เท่ากับ 0.959 และ 0.076 กรัมต่อบ่อ หรือเท่ากับ 22.35 และ 8.79% ของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในดิน สำหรับในชุดการทดลอง T2 การหมุนเวียนไนโตรเจนอยู่ในรูปของผลผลิตธรรมชาติ เท่ากับ 4.620 กรัมต่อบ่อ หรือ 107.69% ของไนโตรเจนในดิน โดยในระบบนี้กุ้งได้รับไนโตรเจนจากอาหารในปริมาณ 2.120 กรัมต่อบ่อ หรือ 49.42% ของไนโตรเจนในดิน ทำให้ได้ไนโตรเจนในรูปของผลผลิตกุ้ง เท่ากับ 1.694 กรัมต่อบ่อ หรือ 39.49% ของไนโตรเจนในดิน อย่างไรก็ตามในบ่อ T2 ซึ่งมีการให้อาหารสำเร็จรูปมีการสะสมของไนโตรเจนสุทธิกลับเข้าไปในดินพื้นบ่ออีกครั้งเท่ากับ 0.149 กรัมต่อบ่อ หรือ เท่ากับ 3.47% ของไนโตรเจนในดิน ขณะที่ในบ่อ T1 และ T3 มีการปลดปล่อยไนโตรเจนสุทธิออกจากดินเลนก้นบ่อเท่ากับ 1.220 และ1.790 กรัมต่อบ่อ หรือเท่ากับ 28.44 และ 41.68% ของไนโตรเจนในดิน นอกจากนี้ยังมีไนโตรเจนที่ออกจากบ่อเลี้ยงโดยผ่านกระบวนการดีไนตริฟิเคชั่น เท่ากับ 0.084, 0.012 และ 0.001 กรัมต่อบ่อ หรือเท่ากับ 1.96, 0.28 และ 0.02% ของไนโตรเจนในดินในบ่อ T1, T2 และ T3 ตามลำดับ สำหรับสารประกอบฟอสฟอรัสพบว่ามีการปลดปล่อยออกจากดินเลนพื้นบ่อเลี้ยงเท่ากับ 0.110, 0.083 และ 0.233 กรัมต่อบ่อ หรือเท่ากับ 12.72, 9.60 และ 26.94% ของฟอสฟอรัสในดินในบ่อ T1, T2 และ T3 ตามลำดับ (ตารางที่ 6-1 และ 6-2) และสำหรับปริมาณการหมุนเวียนไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในหน่วยย่อยต่าง ๆ ในแต่ละชุดการทดลองได้แสดงไว้ในตารางภาคผนวกที่ 1-6

ตารางที่ 6-1 ปริมาณการหมุนเวียนไนโตรเจนในกระบวนการต่างๆ ในบ่อเลี้ยงกุ้งที่มีการให้อาหารแตกต่างกัน 3 รูปแบบในระยะเวลาเลี้ยง 5 สัปดาห์

ลำดับ	กระบวนการเปลี่ยนแปลง	ปริมาณการหมุนเวียนไนโตรเจน					
		T1		T2		T3	
		gN/pond	%N	gN/pond	%N	gN/pond	%N
(1)	phytoplankton input	0.007	0.16	0.007	0.16	0.007	0.16
(2)	phytoplankton output	0.106	2.47	0.099	2.31	0.105	2.45
(3)	phytoplankton assimilation	3.693	86.08	5.166	120.42	2.031	47.34
(4)	phytoplankton sink	3.594	83.78	5.074	118.28	1.933	45.06
(5)	gutweed input	-	-	-	-	0.091	2.12
(6)	gutweed assimilation	-	-	-	-	4.922	114.73
(7)	gutweed output	-	-	-	-	0.527	12.28
(8)	gutweed sink	-	-	-	-	4.486	104.57
(9)	water input	0.062	1.45	0.062	1.45	0.062	1.45
(10)	water addition	0.352	8.21	0.352	8.21	0.352	8.21
(11)	water output	0.528	12.31	0.623	14.52	0.300	6.99
(12)	excretion+flux+raking	3.807	88.74	5.375	125.29	6.839	159.42
(13)	shrimp input	0.036	0.84	0.036	0.84	0.036	0.84
(14)	feed input	-	-	2.120	49.42	-	-
(15)	shrimp output	0.959	22.35	1.694	39.49	1.403	32.70
(16)	shrimp excretion	2.877	67.06	5.082	118.46	4.209	98.11
(17)	natural productivity	3.800	88.58	4.620	107.69	5.576	129.98
(18)	sediment raking	0.481	11.21	0.479	11.17	0.479	11.17
(19)	sediment net flux	0.449	10.47	-0.186	-4.34	2.151	50.14
(20)	sediment input	4.290	100.00	4.290	100.00	4.290	100.00
(21)	sediment output	3.070	71.56	4.439	103.47	2.502	58.32
(22)	denitrification	0.084	1.96	0.012	0.28	0.001	0.02
(23)	net accumulation	-1.220	-28.44	0.149	3.47	-1.788	-41.68

(T1 = ไม่ให้อาหารเม็ดสำเร็จรูป, T2 = ให้อาหารเม็ดสำเร็จรูป, T3 = ไม่ให้อาหารเม็ดสำเร็จรูปแต่ปลูกสาหร่ายไส้ไก่)
%N เป็นปริมาณไนโตรเจน (gN/pond) ของแต่ละกระบวนการเทียบกับปริมาณไนโตรเจนในดินเริ่มต้น (20))

ตารางที่ 6-2 ปริมาณการหมุนเวียนฟอสฟอรัสในกระบวนการต่างๆ ในบ่อเลี้ยงกุ้งที่มีการให้อาหารแตกต่างกัน 3 รูปแบบในระยะเวลาเลี้ยง 5 สัปดาห์

ลำดับ	กระบวนการเปลี่ยนแปลง	ปริมาณการหมุนเวียนฟอสฟอรัส					
		T1		T2		T3	
		gP/pond	%P	gP/pond	%P	gP/pond	%P
(1)	phytoplankton input	0.001	0.12	0.001	0.12	0.001	0.12
(2)	phytoplankton output	0.014	1.62	0.013	1.50	0.014	1.62
(3)	phytoplankton assimilation	0.233	26.94	0.296	34.22	0.135	15.61
(4)	phytoplankton sink	0.220	25.43	0.284	32.83	0.122	14.10
(5)	gutweed input	-	-	-	-	0.013	1.50
(6)	gutweed assimilation	-	-	-	-	0.597	69.02
(7)	gutweed output	-	-	-	-	0.077	8.90
(8)	gutweed sink	-	-	-	-	0.533	61.62
(9)	water input	0.018	2.08	0.018	2.08	0.018	2.08
(10)	water addition	0.005	0.58	0.005	0.58	0.005	0.58
(11)	water output	0.047	5.43	0.195	22.54	0.071	8.21
(12)	excretion+flux+raking	0.257	29.71	0.468	54.10	0.780	90.17
(13)	shrimp input	0.003	0.35	0.003	0.35	0.003	0.35
(14)	feed input	-	-	0.232	26.82	-	-
(15)	shrimp output	0.076	8.79	0.134	15.49	0.111	12.83
(16)	shrimp excretion	0.002	0.23	0.003	0.35	0.002	0.23
(17)	natural productivity	0.075	8.67	-0.098	-11.33	0.110	12.72
(18)	sediment raking	0.010	1.16	0.011	1.27	0.010	1.16
(19)	sediment net flux	0.245	28.32	0.454	52.49	0.768	88.79
(20)	sediment input	0.865	100.00	0.865	100.00	0.865	100.00
(21)	sediment output	0.755	87.28	0.782	90.40	0.632	73.06
(23)	net accumulation	-0.110	-12.72	-0.083	-9.60	-0.233	-26.94

(T1 = ไม่ให้อาหารเม็ดสำเร็จรูป, T2 = ให้อาหารเม็ดสำเร็จรูป, T3 = ไม่ให้อาหารเม็ดสำเร็จรูปแต่ปลูกสาหร่ายไส้ไก่, %P เป็นปริมาณฟอสฟอรัส (gP/pond) ของแต่ละกระบวนการเทียบกับปริมาณฟอสฟอรัสในดินเริ่มต้น (20))

วิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่าการปลูกสาหร่ายไส้ไก่ในระบบนิเวศบ่อเลี้ยงกุ้ง ทำให้สามารถจัดการควบคุมคุณภาพน้ำทั้งสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในบ่อเลี้ยงกุ้งได้ดีกว่าระบบนิเวศที่มีแพลงก์ตอนพืชเพียงอย่างเดียว (T1 และ T3) สังเกตจากปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำเมื่อสิ้นสุดการทดลอง ซึ่งพบว่าในบ่อที่ปลูกสาหร่ายไส้ไก่ (T3) มีปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเพียง 0.300 และ 0.071 กรัมต่อบ่อ ขณะที่บ่อที่ให้อาหารเม็ดสำเร็จรูป (T2) มีปริมาณเท่ากับ 0.623 และ 0.195 กรัมต่อบ่อ และบ่อที่ไม่ให้อาหารเม็ดสำเร็จรูป (T1) มีปริมาณเท่ากับ 0.528 และ 0.047 กรัมต่อบ่อ ทั้งนี้เนื่องจากการปลูกสาหร่ายไส้ไก่ทำให้มีผลผลิตปฐมภูมิเพิ่มขึ้น โดยพบว่า บ่อเลี้ยงกุ้งที่ปลูกสาหร่ายไส้ไก่ในปริมาณ 28 กรัมต่อบ่อ ทำให้มีคลอโรฟิลล์ เอ เพิ่มขึ้น 256.3 เท่าของบ่อที่ไม่ปลูกสาหร่ายไส้ไก่ซึ่งมีเฉพาะแพลงก์ตอนพืช (รายงานบทที่ 3) สารอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสถูกดูดซึมไปใช้โดยสาหร่ายไส้ไก่สูงถึง 4.922 และ 0.597 กรัมต่อบ่อ ขณะที่ถูกดูดซึมไปใช้โดยแพลงก์ตอนพืชเพียง 2.031 และ 0.135 กรัมต่อบ่อ ทั้งนี้เนื่องมาจาก สาหร่ายไส้ไก่มี biomass มากกว่าจึงสามารถดูดสารอาหารได้มากกว่า อีกทั้งสาหร่ายไส้ไก่ยังสามารถดูดซึมสารอาหารได้จาก 2 ทาง คือ ดูดซึมจากน้ำ (assimilation) และดูดซึมจากดิน (uptake) เนื่องจากสาหร่ายไส้ไก่มีไรซอยด์ (rhiziod) (ยุวดี, 2546) จึงสามารถดูดสารอาหารจากน้ำและจากดินได้โดยตรง (Williams, 1984) นอกจากนี้ Kamer และคณะ (2004) รายงานเช่นเดียวกันว่าสารอาหารจากน้ำและตะกอนดินเป็นแหล่งของสารอาหารที่สำคัญสำหรับสาหร่ายไส้ไก่ โดยสาหร่ายมีการดูดซึมสารอาหารจากน้ำไปใช้ก่อนแล้วเมื่อน้ำมีสารอาหารในปริมาณต่ำจึงมีการใช้สารอาหารจากตะกอนดิน

นอกจากนี้ผลการศึกษายังชี้ให้เห็นอย่างชัดเจนว่า การให้อาหารเม็ดสำเร็จรูปทำให้น้ำและดินมีปริมาณสารอาหารเพิ่มมากขึ้นกว่าชุดการทดลองที่ไม่ให้อาหารสำเร็จรูป (T1 และ T3) หรืออาจกล่าวได้ว่าการให้อาหารเม็ดสำเร็จรูปทำให้น้ำและดินเสียได้ง่ายกว่าชุดการทดลองที่ปล่อยให้กุ้งกินอาหารธรรมชาติ โดยพบสารอาหารเหลือตกค้างอยู่ในระบบนิเวศบ่อเลี้ยงกุ้งโดยเฉพาะปริมาณไนโตรเจนที่สะสมเพิ่มขึ้นในดิน ซึ่งบ่อที่มีการให้อาหารเม็ดสำเร็จรูปมีการสะสมของไนโตรเจนในดิน แตกต่างจากอีก 2 ระบบที่ไม่มีการให้อาหารสำเร็จ กุ้งที่เติบโตมีการนำไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงไปใช้เพื่อการเติบโต โดยผ่านการกินอาหารธรรมชาติและสารอินทรีย์เน่าเปื่อย ซึ่งจากการศึกษาในบ่อเลี้ยงกุ้งขาววานาไม ของ Xia และคณะ (2004) ยืนยันว่าหากมีการให้อาหารสำเร็จรูป อาหารสำเร็จรูปเป็นแหล่งของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสหลักที่เข้าสู่บ่อเลี้ยงโดยมีปริมาณสูงถึง 61.24% และ 81.08% ของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทั้งหมดที่เข้าสู่บ่อเลี้ยง และเป็นสาเหตุ

สำคัญของการสะสมของสารประกอบไนโตรเจนในดินพื้นบ่อ นอกจากนี้ Funge-Smith และ Briggs (1998) รายงานว่าในบ่อเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนาทั่วไปมีไนโตรเจนจากอาหารสำเร็จรูปเข้าสู่บ่อเลี้ยงถึง 78% ของไนโตรเจนทั้งหมดที่เข้าสู่บ่อและถูกสะสมอยู่ในตะกอนดินถึง 24% ของปริมาณทั้งหมดที่เข้าสู่บ่อเลี้ยง ซึ่งลักษณะเช่นนี้จะทำให้บ่อที่เลี้ยงกุ้งโดยให้อาหารเม็ดสำเร็จรูปตั้งแต่เริ่มต้นสามารถรองรับสารอาหารเหลือได้ในระยะเวลาอันสั้น ขณะที่ในอีก 2 ระบบ โดยเฉพาะในระบบที่มีสาหร่ายไส้ไก่ มีการดึงไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากดินไปใช้มากที่สุด โดยผ่านห่วงโซ่อาหารของอาหารธรรมชาติ และผ่านเข้ามาสู่กุ้งโดยการกินอาหารธรรมชาติ และซากอินทรีย์ที่มีอยู่ในบ่อเลี้ยงกุ้ง (Nunes *et al*., 1997 ; รายงานบทที่ 5) ทำให้ดินพื้นบ่อมีปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสลดลง ทำให้สามารถรองรับไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากการเลี้ยงกุ้งได้เพิ่มขึ้นในกรณีที่เปลี่ยนไปให้อาหารเม็ดสำเร็จรูป หลังจากอาหารธรรมชาติหมดลง ซึ่งบทบาทของการปลูกสาหร่ายไส้ไก่ในระบบนิเวศบ่อเลี้ยงกุ้งเช่นนี้ส่งผลให้เกษตรกรสามารถยืดระยะเวลาการเลี้ยงออกไปได้นานขึ้น

เมื่อพิจารณาปริมาณการขับถ่ายของกุ้ง พบว่า กุ้งที่เลี้ยงโดยให้อาหารเม็ดสำเร็จรูปมีปริมาณการขับถ่ายไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสูงกว่าบ่อที่ไม่มีการให้อาหารเม็ดสำเร็จรูปโดยมีค่าเท่ากับ 5.082 และ 0.003 กรัมต่อบ่อ ขณะที่บ่อที่ไม่ให้อาหารเม็ดสำเร็จรูปและบ่อที่ปลูกสาหร่ายไส้ไก่มีปริมาณการขับถ่ายเพียง 2.877 และ 0.002 กรัมต่อบ่อ และ 4.209 และ 0.002 กรัมต่อบ่อตามลำดับ ทั้งนี้สังเกตว่าปริมาณการขับถ่ายไนโตรเจนสูงกว่าฟอสฟอรัสเนื่องจาก เมื่อกุ้งกินอาหารจะมีการขับถ่ายไนโตรเจนออกมาถึง 75% (Burford and Lorenzen, 2004) ขณะที่ขับถ่ายฟอสฟอรัสเพียง 2% เท่านั้น (Ambasankar *et al*., 2006) ส่งผลให้มีปริมาณไนโตรเจนตกค้างในระบบและมีปริมาณการสะสมไนโตรเจนในดินสูงกว่าการสะสมของฟอสฟอรัส จากการศึกษาของ Shishehchian และคณะ (2003) แสดงให้เห็นว่า กุ้งที่กินอาหารเม็ดสำเร็จรูปถึงแม้จะมีการเติบโตดีแต่ก็มีการขับถ่ายไนโตรเจนออกมาสะสมในน้ำและดินปริมาณสูงกว่าบ่อที่เลี้ยงกุ้งโดยใช้อาหารธรรมชาติ ในขณะที่กุ้งที่กินอาหารธรรมชาติที่เกิดจากการปลูกสาหร่ายสามารถเติบโตได้ภายในระยะเวลา 4 สัปดาห์โดยมีการเติบโตที่แตกต่างจากกุ้งที่ให้อาหารเม็ดสำเร็จรูปอย่างไม่มีนัยสำคัญ การหมุนเวียนสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากอาหารเข้าสู่กุ้งจึงไม่ใช่การเพิ่มปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในระบบนิเวศบ่อเลี้ยงกุ้ง สารอาหารที่กินเข้าไป และเหลือจากการดูดซึมเข้าไปสะสมในร่างกาย และขับถ่ายออกมาจึงไม่ได้เป็นตัวแปรที่ทำให้สภาพแวดล้อมในน้ำและดินเลนบ่อเลี้ยงกุ้งเสื่อมโทรม

สำหรับการใช้สาหร่ายไส้ไก่ในการเลี้ยงกุ้ง พบว่า สาหร่ายไส้ไก่ช่วยทำให้น้ำและดินสะอาดมากขึ้น มีสารอาหารเหลือตกค้างในน้ำและดินน้อยที่สุด โดยพบว่าปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในดินลดลงมากที่สุดเท่ากับ 1.790 และ 0.233 กรัมต่อบ่อ ขณะที่บ่อที่ไม่ให้

อาหารเม็ดสำเร็จรูปมีไนโตรเจนในดินลดลง 1.220 กรัมต่อบ่อ และบ่อที่ให้อาหารเม็ดสำเร็จรูปมีไนโตรเจนในดินเพิ่มขึ้น 0.149 กรัมต่อบ่อ เนื่องจากสาหร่ายดูดซึมสารอาหารได้ดีกว่าแพลงก์ตอนพืช ดังที่กล่าวไปแล้วข้างต้น อีกทั้งในระบบที่ปลูกสาหร่ายไส้ไก่ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสยังถูกดึงไปใช้โดยผ่านทางผลผลิตธรรมชาติในปริมาณสูงสุดถึง 5.576 และ 0.110 กรัมต่อบ่อ ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบกับบ่อที่ไม่มีการให้อาหารเม็ดสำเร็จรูปเหมือนกันและไม่มีสาหร่ายไส้ไก่ (T1) ที่กุ้งได้รับไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากผลผลิตธรรมชาติเพียง 3.800 และ 0.075 กรัมต่อบ่อ ตามลำดับ โดยถูกส่งผ่านไปสู่ตัวกุ้งทำให้ผลผลิตกุ้งในบ่อดังกล่าวสูงกว่าในบ่อที่ไม่ปลูกสาหร่ายไส้ไก่ทั้งที่ไม่มีการให้อาหารเม็ดสำเร็จรูปเหมือนกัน ซึ่งจากรายงานของ เพ็ญศรี (2554) รายงานว่าสาหร่ายไส้ไก่มีบทบาทในการเป็นที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิตที่เป็นอาหารธรรมชาติให้กับลูกกุ้งที่ปล่อยลงเลี้ยงในบ่อ ทำให้บ่อที่มีสาหร่ายไส้ไก่มีปริมาณอาหารธรรมชาติสูงกว่าบ่อที่ไม่มีสาหร่ายไส้ไก่ ด้วยเหตุนี้ส่งผลให้กุ้งที่เลี้ยงในบ่อที่มีสาหร่ายไส้ไก่ ได้รับสารอาหารผ่านทางผลผลิตธรรมชาติสูงกว่าบ่อที่ไม่มีสาหร่ายไส้ไก่

อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองพบว่าอาหารธรรมชาติมีความสำคัญกับกุ้งในทุกรูปแบบของการให้อาหาร แม้กระทั่งในระบบที่มีการให้อาหารเม็ดก็ตาม โดยพบว่ากุ้งยังคงได้รับสารอาหารไนโตรเจนผ่านทางผลผลิตธรรมชาติในปริมาณ 4.620 กรัมต่อบ่อ ชี้ให้เห็นว่า ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดอาจไม่ได้ถูกกุ้งกินเป็นอาหาร ซึ่งจากรายงานของ Nunes และคณะ (1997) พบว่าอาหารธรรมชาติมีบทบาทสำคัญในกุ้ง *Penaeus subtilis* ที่เลี้ยงแบบกึ่งพัฒนา โดยจากการศึกษาองค์ประกอบในกระเพาะอาหารพบว่ามีปริมาณอาหารธรรมชาติสูงถึง 75.09% ขณะที่มีอาหารสำเร็จรูปเพียง 24. 91% เมื่อพิจารณาจากข้อมูลพฤติกรรมการกินอาหารของกุ้ง และองค์ประกอบในกระเพาะอาหารของกุ้งที่ศึกษา (บทที่ 5) พบว่า ปริมาณอาหารธรรมชาติ สัตว์หน้าดิน ไดอะตอมหน้าดิน รวมทั้งซากอินทรีย์ที่เน่าเปื่อย ที่กระจายอย่างชุกชุมที่พื้นบ่อ สามารถเพิ่มโอกาสในการถูกกินได้ตลอดเวลา แตกต่างจากปริมาณเม็ดของอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่อาจมีการกระจายตัวบางพื้นที่เนื่องจากการหว่านไม่ทั่วถึง และจำนวนมื้อที่กำหนดให้เพียง 4 มื้อต่อวัน

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาการหมุนเวียนสารอาหารผ่านทางกระบวนการดีไนตริฟิเคชั่น พบว่าทั้ง 3 ระบบมีกระบวนการดีไนตริฟิเคชั่น เกิดขึ้นในปริมาณต่ำเพียง 0.084, 0.012 และ 0.001 กรัมต่อบ่อ หรือเท่ากับ 1.96, 0.28 และ 0.02% ของไนโตรเจนในดิน ในบ่อ T1, T2 และ T3 ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างกับการศึกษาของ พุทธ และคณะ (2547) ที่รายงานว่าในการเลี้ยงกุ้งระบบเปิดและระบบปิดหมุนเวียน ปริมาณไนโตรเจนแพร่ออกจากบ่อเลี้ยงกุ้งโดยผ่านกระบวนการดีไนตริฟิเคชั่นในตะกอนดินก้นบ่อเลี้ยงประมาณ 25.6% และ 64.6% ของไนโตรเจนในอาหาร และจากการศึกษาของ Funge-Smith และ Briggs (1998) พบว่าในบ่อเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนาระบบเปิดมี

ปริมาณไนโตรเจนออกจากบ่อเลี้ยงโดยผ่านกระบวนการดีไนตริฟิเคชั่นและการระเหยของแอมโมเนียสูงถึง 30% จะเห็นว่าการทดลองครั้งนี้มีกระบวนการดีไนตริฟิเคชั่นเกิดขึ้นในปริมาณต่ำมาก แสดงให้เห็นว่าดินพื้นบ่อที่ใช้ในการคำนวณดุลยังอยู่ในสภาพที่มีออกซิเจนสูง ทำให้กระบวนการที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เป็นกระบวนการไนตริฟิเคชั่นมากกว่ากระบวนการดีไนตริฟิเคชั่น

สรุปผลการทดลอง

1. สาหร่ายไส้ไก่สามารถดูดสารอาหารไปใช้ได้ดีกว่าแพลงก์ตอนพืชทำให้บ่อที่ปลูกสาหร่ายไส้ไก่มีคุณภาพน้ำและดินดีกว่า มีสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสะสมน้อยกว่าและทำให้สามารถยืดระยะเวลาการเลี้ยงกุ้งออกไปได้นานกว่า

2. ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในบ่อเลี้ยงกุ้งที่มีการปลูกสาหร่ายไส้ไก่สามารถหมุนเวียนกลับไปสู่ตัวกุ้งผ่านทางผลผลิตธรรมชาติได้มากที่สุด ทำให้ได้ผลผลิตกุ้งจากสารอาหารเหลือตกค้างในบ่อได้มากกว่าบ่อที่ไม่มีการปลูกสาหร่ายและไม่ให้อาหารเม็ดสำเร็จรูป

3. บ่อเลี้ยงกุ้งที่มีการให้อาหารเม็ดสำเร็จรูปมีการสะสมของไนโตรเจนจากอาหารส่วนเกินลงสู่ดิน อีกทั้งยังมีการขับถ่ายไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสูงกว่าการเลี้ยงแบบไม่ให้อาหารเม็ดส่งผลให้มีสารอาหารเหลือตกค้างในบ่อมาก

บทที่ 7

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

การศึกษาผลของสาหร่ายไส้ไก่ (*Ulva intestinalis* Linnaeus) ต่อการหมุนเวียนของสารอาหารและการสร้างอาหารธรรมชาติในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon* Fabricius) ได้ดำเนินการในบ่อทดลองภายใต้ 2 สภาวะ คือ

1. สภาวะที่ไม่มีการเลี้ยงกุ้ง วางแผนการทดลองนี้เพื่อไม่ให้มีการรบกวนของกุ้งต่อผลของสาหร่ายไส้ไก่ในระบบนิเวศ โดยดำเนินการทดลองในบ่อน้ำกร่อยจำลองขนาดเล็กที่มีการเตรียมบ่อโดยใช้ระดับน้ำต่ำ 10 ซม. คราดดินเลนสัปดาห์ละ 1 ครั้ง เป็นเวลา 2 สัปดาห์ เพื่อเพิ่มออกซิเจนหน้าดินและให้สารอาหารในดินเลนละลายออกมาในน้ำ แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ชุดการทดลอง ได้แก่ ชุดการทดลอง T1 ไม่ปลูกสาหร่ายไส้ไก่ ชุดการทดลอง T2 ปลูกสาหร่ายไส้ไก่ 28 ก./ตร.ม. และชุดการทดลอง T3 ปลูกสาหร่ายไส้ไก่ 56 ก./ตร.ม. เก็บข้อมูลการเติบโตของสาหร่ายไส้ไก่ คุณภาพน้ำและคุณภาพดิน และสิ่งมีชีวิตที่เกิดขึ้นในระบบนิเวศจำลองดังกล่าว สัปดาห์ละ 1 ครั้ง โดยมีผลการทดลองสรุปได้ดังนี้

1.1 ผลของสาหร่ายไส้ไก่ต่อการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรไม่มีชีวิต (abiotic factors) ได้แก่ คุณภาพน้ำและคุณภาพดิน ในระบบนิเวศจำลองของบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ผลการศึกษาพบว่า การใช้วิธีการคราดดินเลนในการเตรียมบ่อช่วยทำให้ดินพื้นบ่อมีการปล่อยสารอาหารออกมาได้ดีและเพียงพอ ทำให้สาหร่ายเติบโตได้มากถึง 40 เท่า ภายในเวลา 3 สัปดาห์ ซึ่งในระหว่างการเติบโตของสาหร่ายพบว่า ปริมาณแอมโมเนียและไนเตรทลดลงจนถึงระดับต่ำสุดจึงทำให้สาหร่ายเริ่มมีการตาย ในขณะที่ฟอสฟอรัสในน้ำยังคงมีปริมาณเพิ่มขึ้น โดยมีสัดส่วนของไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสเท่ากับ 0.52±0.15 และ 0.44±0.10 ในชุดการทดลอง T2 และ T3 ตามลำดับ ชี้ให้เห็นว่าในการใช้ดินเลนจากบ่อเลี้ยงกุ้งเพื่อปลูกสาหร่ายไส้ไก่ ไนโตรเจนเป็นปัจจัยจำกัด (limiting factor) ในการเติบโตของสาหร่าย ส่วนการเพิ่มขึ้นของสาหร่ายไส้ไก่เปลี่ยนแปลงสัมพันธ์กับตัวแปรคุณภาพดิน 2 ตัวแปร คือ ปริมาณฟอสฟอรัสรวมและแอมโมเนียรวมในดิน โดยพบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสรวมและแอมโมเนียรวมในดินที่มีมากมีความสัมพันธ์กับปริมาณสาหร่ายไส้ไก่ที่มีน้อย ผลการทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่า หากฟอสฟอรัสและแอมโมเนียไม่สามารถถูกปล่อยออกมาจากดิน สาหร่ายไส้ไก่ที่นำมาปลูกก็ไม่สามารถเติบโตได้

1.2 ผลของสาหร่ายไส้ไก่ต่อการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรมีชีวิต (biotic factor) ได้แก่ สาหร่ายไส้ไก่ แพลงก์ตอนพืช แพลงก์ตอนสัตว์ และสัตว์พื้นใต้น้ำ พบว่า การปลูกสาหร่ายไส้ไก่ในบ่อ (T2 และ T3) ทำให้ระบบนิเวศมีคลอโรฟิลล์ เอ สูงกว่าบ่อที่มีแพลงก์ตอนพืชอย่างเดียว (T1) และมีการดูดซับสารอาหารที่ปล่อยออกจากดินเลนพื้นบ่อเลี้ยงกุ้งไปใช้ได้มากกว่า ส่งผลให้สารอาหารในน้ำและในดินลดลง โดยเมื่อพิจารณาปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ พบว่า บ่อที่ปลูกสาหร่ายไส้ไก่มีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ สูงกว่าบ่อที่ไม่ปลูกสาหร่ายไส้ไก่ โดยมีสัดส่วนของคลอโรฟิลล์ เอ ในสาหร่ายต่อคลอโรฟิลล์ เอ ในแพลงก์ตอนพืชสูงสุด เท่ากับ 256.3 และ 656 เท่า ในชุดการทดลอง T2 และ T3 ตามลำดับ ชี้ให้เห็นศักยภาพของบ่อที่สามารถรองรับการเติบโตของสาหร่ายไส้ไก่ในปริมาณมาก และส่งผลต่อเนื่องมายังกิจกรรมการผลิตออกซิเจนจากกระบวนการสังเคราะห์แสงของสิ่งมีชีวิตที่เป็นผลผลิตปฐมภูมิได้มากขึ้น จึงทำให้บ่อที่มีสาหร่ายไส้ไก่มีปริมาณออกซิเจนสูงกว่าบ่อที่มีแพลงก์ตอนพืชอย่างเดียว นอกจากนี้ยังพบว่าในบริเวณที่มีสาหร่ายไส้ไก่เติบโตอยู่มีสิ่งมีชีวิตพวก ตัวอ่อนริ้นน้ำจืด ตัวอ่อนยุง ตัวอ่อนโคพิพอด และโคพิพอด โดยเฉพาะโคพิพอดกลุ่มฮาร์แพ็คทิคอยด์ ในปริมาณมาก ซึ่งสิ่งมีชีวิตเหล่านี้เป็นอาหารธรรมชาติที่เหมาะสมกับการเติบโตของลูกกุ้งวัยอ่อน สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ทางสถิติที่พบปริมาณอาหารธรรมชาติเหล่านี้มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณสาหร่ายไส้ไก่อย่างมีนัยสำคัญ กล่าวคือ ในบ่อที่มีสาหร่ายไส้ไก่มากปริมาณอาหารธรรมชาติเหล่านี้ก็มากด้วย ผลการวิจัยนี้นำไปสู่ข้อสรุปว่า สาหร่ายไส้ไก่ที่มีในบ่อเลี้ยงกุ้งสามารถปรับปรุงระบบนิเวศให้มีสภาพแวดล้อมดีขึ้น สร้างอาหารธรรมชาติให้เกิดขึ้นและเป็นที่อยู่อาศัยที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิต และการเติบโตของลูกกุ้งที่ปล่อยลงเลี้ยง

2. สภาวะที่มีการเลี้ยงกุ้ง เพื่ออธิบายผลของสาหร่ายไส้ไก่ต่อการเติบโตและองค์ประกอบในกระเพาะอาหารของกุ้งกุลาดำ รวมทั้งผลของสาหร่ายไส้ไก่ต่อการหมุนเวียนสารอาหารที่เข้าไปสู่กุ้งที่ปล่อยลงเลี้ยงโดยใช้วิธีการดุลไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในระบบนิเวศบ่อเลี้ยงกุ้งจำลองเปรียบเทียบระหว่างระบบการเลี้ยงที่มีรูปแบบการให้อาหารแตกต่างกัน โดยดำเนินการทดลองในบ่อน้ำกร่อยจำลองขนาดเล็ก ใช้วิธีการเตรียมบ่อโดยใช้ระดับน้ำต่ำ 5 ซม. คราดดินเลนสัปดาห์ละ 1 ครั้ง เป็นเวลา 2 สัปดาห์ เพื่อเพิ่มออกซิเจนหน้าดินและให้สารอาหารในดินเลนละลายออกมาในน้ำ แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ชุดการทดลอง ตามรูปแบบการให้อาหาร 3 รูปแบบ ได้แก่ ไม่ให้อาหารสำเร็จรูป (T1) ให้อาหารสำเร็จรูป (T2) และไม่ให้อาหารสำเร็จรูปแต่ปลูกสาหร่ายไส้ไก่ (T3) โดยในชุดการทดลอง T3 ปลูกสาหร่ายไส้ไก่ความหนาแน่น 27 ก./ตร.ม. เป็นเวลา 2 สัปดาห์ แล้วจึงปล่อยลูกกุ้งกุลาดำระยะโพสต์ลาร์วา 20 น้ำหนักเฉลี่ย 0.013 ก./ตัว ความหนาแน่น 53 ตัว/ตร.ม. ลงเลี้ยงในทุกชุดการทดลองเป็นเวลา 5 สัปดาห์ ผลการศึกษาสรุปได้ดังนี้

2.1 การศึกษาองค์ประกอบในกระเพาะอาหารของกุ้ง เพื่ออธิบายถึงผลของสาหร่ายไส้ไก่และอาหารธรรมชาติต่อองค์ประกอบในกระเพาะอาหารของกุ้งและพฤติกรรมการกินอาหารของกุ้งในระบบนิเวศ พบว่า กุ้งที่เลี้ยงในสภาวะที่มีอาหารแตกต่างกัน 3 รูปแบบ มีองค์ประกอบในกระเพาะอาหารคล้ายคลึงกัน โดยพบความถี่ของโคพิพอดสูงสุดในทุกชุดการทดลอง นอกจากนี้ ความถี่ขององค์ประกอบอื่นๆ ที่พบในกระเพาะอาหารของกุ้งรองจากโคพิพอด พบว่า กุ้งที่เลี้ยงโดยไม่ให้อาหารสำเร็จรูป พบ ชิ้นส่วนพืช ซากเน่าเปื่อย และตัวอ่อนยุง ตามลำดับ ส่วนกุ้งที่เลี้ยงในบ่อที่ให้อาหารสำเร็จรูป พบ ตัวอ่อนยุง ซากเน่าเปื่อย/อาหารสำเร็จรูป และชิ้นส่วนพืช ตามลำดับ และกุ้งที่เลี้ยงในบ่อที่ปลูกสาหร่ายไส้ไก่ พบ ตัวอ่อนยุง ชิ้นส่วนพืช และไดอะตอม *Navicula* sp. ตามลำดับ สำหรับองค์ประกอบเชิงปริมาณ พบว่า กระเพาะกุ้งในบ่อที่ไม่ให้อาหารสำเร็จรูปมีซากเน่าเปื่อยเป็นองค์ประกอบมากที่สุด รองลงมา คือ ชิ้นส่วนพืช ไดอะตอม *Pleurosigma* sp. และไดอะตอม *Navicula* spp. และกุ้งในบ่อที่เลี้ยงโดยการให้อาหารสำเร็จรูปมีโคพิพอดเป็นองค์ประกอบมากที่สุด รองลงมาคือ ซากเน่าเปื่อย/อาหารสำเร็จรูป ชิ้นส่วนพืช และตัวอ่อนยุง สำหรับกุ้งที่เลี้ยงในบ่อที่มีสาหร่ายไส้ไก่ มี *Navicula* spp. เป็นองค์ประกอบมากที่สุด รองลงมาคือ ชิ้นส่วนพืช โคพิพอด และไดอะตอม *Pleurosigma* sp. จะเห็นว่ากุ้งที่เลี้ยงในบ่อ T1 ที่ไม่ให้อาหารสำเร็จรูป กินซากเน่าเปื่อยในพื้นบ่อ และอาหารธรรมชาติที่เกิดขึ้นในบ่อ แสดงพฤติกรรมการหากินอาหารบริเวณหน้าดินเป็นหลัก ส่วนกุ้งที่เลี้ยงในบ่อ T2 ให้อาหารสำเร็จรูป กินซากเน่าเปื่อยในพื้นบ่อ และอาหารธรรมชาติไปพร้อมกับการกินอาหารสำเร็จรูป และยังคงแสดงพฤติกรรมการหากินอาหารบริเวณหน้าดินเป็นหลัก ในขณะที่กุ้งที่เลี้ยงในบ่อ T3 ที่ไม่ให้อาหารสำเร็จรูปแต่ปลูกสาหร่ายไส้ไก่ กินซากเน่าเปื่อยน้อยกว่าทั้งสองชุดการทดลอง และแสดงพฤติกรรมการหากินกลางน้ำได้มากขึ้น กล่าวคือ สามารถกินอาหารธรรมชาติที่พบในบริเวณที่สาหร่ายเติบโตอยู่กลางน้ำที่มีอาหารธรรมชาติเกิดขึ้นหรือเข้าไปอาศัยอยู่มาก ชี้ให้เห็นว่าบริเวณกอสาหร่ายเป็นแหล่งหากินของกุ้ง

2.2 การศึกษาผลของสาหร่ายไส้ไก่ต่อการเติบโตของกุ้งที่ปล่อยกุ้งลงเลี้ยงด้วยความหนาแน่น 53 ตัว/ตร.ม. ในระบบนิเวศที่มีการให้อาหาร 3 รูปแบบ พบว่า กุ้งในบ่อ T1 ที่ระยะเวลาเลี้ยง 2 สัปดาห์มีอัตราการเติบโตไม่แตกต่างกับกุ้งในบ่อ T2 และ T3 แสดงให้เห็นว่า การเตรียมบ่อโดยการคราดดินและใช้ระดับน้ำต่ำแต่ไม่ปลูกสาหร่ายไส้ไก่สามารถสร้างอาหารธรรมชาติรองรับการเติบโตของกุ้งได้เป็นเวลา 2 สัปดาห์ หลังจากนั้นการเติบโตของกุ้งในบ่อ T1 เริ่มลดลง และเมื่อเลี้ยงกุ้งเป็นเวลา 4 สัปดาห์ อัตราการเติบโตของกุ้งในชุด T1 ต่ำกว่าอัตราการเติบโตของกุ้งในชุด T2 และ T3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่กุ้งในชุด T2 และ T3 มีอัตราการเติบโตไม่

แตกต่างกัน ชี้ให้เห็นว่าบ่อที่เตรียมอาหารธรรมชาติ โดยการคราดดินและใช้ระดับน้ำต่ำ แล้วปลูกสาหร่ายไส้ไก่ (บ่อ T3) สามารถรองรับการเติบโตของกุ้งได้เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ทั้งนี้การกำหนดระยะเวลาเพื่อจัดการใช้อาหารธรรมชาติในบ่อรองรับการเติบโตของกุ้งขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของกุ้งที่ปล่อยลงเลี้ยงและปริมาณอาหารธรรมชาติที่เกิดขึ้นในบ่อด้วย ซึ่งผลการศึกษานี้สอดคล้องกับการศึกษาผลของสาหร่ายไส้ไก่ต่อการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรมีชีวิต ที่พบว่า ในบ่อที่ปลูกสาหร่ายไส้ไก่มีปริมาณสิ่งมีชีวิตที่สามารถเป็นอาหารธรรมชาติให้กับลูกกุ้งได้มากกว่า ทำให้สามารถรองรับการเติบโตของกุ้งได้เป็นเวลานานกว่าบ่อที่ไม่ปลูกสาหร่ายไส้ไก่ และจากผลการวิเคราะห์ทางสถิติถึงความสัมพันธ์ของอาหารธรรมชาติกับการเติบโตของกุ้ง พบว่า หนอนแดงเป็นอาหารธรรมชาติที่มีผลต่อการเติบโตของกุ้งมากที่สุด ดังนั้นการกระตุ้นให้เกิดหนอนแดงในบ่อเลี้ยงมากขึ้นในระหว่างเตรียมบ่อสามารถทำให้กุ้งมีการเติบโตเพิ่มขึ้นได้

2.3 การศึกษาผลของสาหร่ายไส้ไก่ต่อการหมุนเวียนของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในระบบนิเวศที่มีการให้อาหารต่างกัน 3 รูปแบบ พบว่า

บ่อที่ไม่มีการให้อาหารสำเร็จรูป (T1) กุ้งได้รับไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากผลผลิตธรรมชาติเท่ากับ 3.800 และ 0.075 กรัมต่อบ่อ คิดเป็น 88.58% ของไนโตรเจน และ 8.67% ของฟอสฟอรัสในดิน ตามลำดับ และมีปริมาณการขับถ่ายไนโตรเจนและฟอสฟอรัสออกจากกุ้งเท่ากับ 2.877 และ 0.002 กรัมต่อบ่อ ตามลำดับ โดยพบการปล่อยสารประกอบไนโตรเจนจากดินสุทธิ เท่ากับ 1.22 กรัมต่อบ่อ คิดเป็น 28.44% ของไนโตรเจนในดินพื้นบ่อ และ ปล่อยสารประกอบฟอสฟอรัสจากดินสุทธิ เท่ากับ 0.110 กรัมต่อบ่อ คิดเป็น 12.72% ของฟอสฟอรัสในดินพื้นบ่อ

บ่อที่มีการให้อาหารสำเร็จรูป (T2) กุ้งได้รับไนโตรเจนจากผลผลิตธรรมชาติ 4.620 กรัมต่อบ่อ และได้รับไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากอาหารสำเร็จรูปเท่ากับ 2.120 และ 0.232 กรัมต่อบ่อ คิดเป็น 49.42% ของไนโตรเจน และ 26.82% ของฟอสฟอรัสในดิน ตามลำดับ และมีปริมาณการขับถ่ายไนโตรเจนและฟอสฟอรัสออกจากกุ้งเท่ากับ 5.082 และ 0.003 กรัมต่อบ่อ สูงกว่าบ่อ T1 และT3 ทำให้มีผลกระทบต่อคุณภาพน้ำมากกว่าบ่อที่ไม่ให้อาหารสำเร็จรูป นอกจากนี้การให้อาหารสำเร็จรูปทำให้น้ำและดินมีปริมาณสารอาหารสูงสุดเมื่อเสร็จสิ้นการทดลอง โดยมีการสะสมไนโตรเจนในดิน เท่ากับ 0.149 กรัมต่อบ่อ คิดเป็น 3.47% ของไนโตรเจนในดิน แต่มีการปล่อยสารประกอบฟอสฟอรัสจากดินสุทธิ เท่ากับ 0.083 กรัมต่อบ่อ คิดเป็น 9.60% ของฟอสฟอรัสในดินพื้นบ่อ

บ่อที่ไม่มีการให้อาหารสำเร็จรูปแต่ปลูกสาหร่ายไส้ไก่ (T3) กุ้งได้รับไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากผลผลิตธรรมชาติ ในปริมาณสูงสุดถึง 5.576 และ 0.110 กรัมต่อบ่อ คิดเป็น 129.98 % ของไนโตรเจน และ 12.72% ของฟอสฟอรัสในดิน ตามลำดับ ชี้ให้เห็นว่าผลของ

สาหร่ายไส้ไก่ในระบบนิเวศบ่อเลี้ยงกุ้งทำให้การหมุนเวียนของไนโตรเจนผ่านอาหารธรรมชาติได้มากและเร็วขึ้น ขณะที่มีปริมาณการขับถ่ายไนโตรเจนและฟอสฟอรัสออกจากกุ้งเท่ากับ 4.209 และ 0.002 กรัมต่อบ่อ ตามลำดับ และพบมีการปลดปล่อยไนโตรเจนสุทธิสูงสุด เท่ากับ 1.790 กรัมต่อบ่อ คิดเป็น 41.68% ของไนโตรเจนในดิน และมีการปลดปล่อยฟอสฟอรัส เท่ากับ 0.233 กรัมต่อบ่อ คิดเป็น 27.09% ของฟอสฟอรัสในดิน สาหร่ายไส้ไก่สามารถดูดซับสารอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสไปใช้ได้ดีกว่าแพลงก์ตอนพืช ทำให้บ่อที่ปลูกสาหร่ายไส้ไก่มีคุณภาพน้ำและดินดีกว่าบ่อที่ไม่ปลูกสาหร่ายไส้ไก่ โดยมีสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสะสมน้อยกว่า

จากผลการทดลองทั้งหมด แสดงให้เห็นว่า การปลูกสาหร่ายไส้ไก่และการเกิดขึ้นของอาหารธรรมชาติมีความสำคัญต่อการเติบโตของลูกกุ้งที่ปล่อยลงเลี้ยง ซึ่งแม้จะมีการให้อาหารสำเร็จรูปลูกกุ้งก็ยังกินอาหารธรรมชาติเป็นหลัก แต่การให้อาหารกุ้งทำให้คุณภาพของสิ่งแวดล้อมทั้งดินและน้ำเสื่อมโทรมได้เร็วกว่าการปล่อยให้กุ้งกินอาหารธรรมชาติ ดังนั้นการเตรียมบ่อโดยปลูกสาหร่ายไส้ไก่ และสร้างอาหารธรรมชาติให้เกิดขึ้นในปริมาณมากสามารถเพิ่มการเติบโตของกุ้งได้มากขึ้น โดยการหมุนเวียนสารอาหารที่เหลือตกค้างในบ่อให้เป็นอาหารธรรมชาติและส่งผ่านไปสู่ตัวกุ้ง ซึ่งแนวคิดนี้เป็นแนวคิดที่สามารถประยุกต์ใช้เพื่อให้รูปแบบการเลี้ยงกุ้งมีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและมีความยั่งยืนได้ต่อไป

ข้อเสนอแนะ

1. จากผลการศึกษาพบว่าการใช้ดินเลนเพื่อปลูกสาหร่ายไส้ไก่ ไนโตรเจนเป็นปัจจัยจำกัดการเติบโตของสาหร่าย เมื่อมีไนโตรเจนต่ำสาหร่ายไส้ไก่จึงตาย ทำให้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระบบนิเวศในเวลาอันสั้น จึงควรมีการศึกษาถึงวิธีการในการควบคุมสมดุลของสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเพื่อขยายระยะเวลาการเติบโตของสาหร่ายไส้ไก่ให้นานขึ้น เพื่อให้สามารถแสดงผลต่อหมุนเวียนสารอาหารและการเกิดอาหารธรรมชาติได้นานขึ้น

2. การปลูกสาหร่ายไส้ไก่ทำให้มีอาหารธรรมชาติเกิดขึ้นในปริมาณมาก เช่น ตัวอ่อนริ้นน้ำจืด ตัวอ่อนโคพิพอด และโคพิพอด ซึ่งสามารถเป็นอาหารให้กับสัตว์น้ำชนิดอื่น ๆ ได้ ดังนั้น ควรมีการประยุกต์ใช้สาหร่ายไส้ไก่เพื่อสร้างอาหารธรรมชาติสำหรับใช้ในการอนุบาลสัตว์น้ำชนิดอื่น ๆ

3. จากการศึกษาครั้งนี้พบว่ามีสิ่งมีชีวิตที่เกิดขึ้นในบ่อที่มีสาหร่ายไส้ไก่ในปริมาณมาก โดยเฉพาะในบริเวณกอสาหร่าย ซึ่งสาหร่ายไส้ไก่อาจเป็นที่อยู่อาศัยและหลบซ่อนตัวของสิ่งมีชีวิตเหล่านั้น อย่างไรก็ตามการศึกษาครั้งนี้ไม่มีการใช้วัสดุอื่น ๆ เปรียบเทียบจึงไม่สามารถสรุปได้อย่างชัดเจนในบทบาทดังกล่าว จึงควรมีการศึกษาบทบาทของสาหร่ายไส้ไก่ในการเป็นที่อยู่อาศัยและหลบซ่อนตัวของสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ให้ชัดเจน โดยมีการเปรียบเทียบกับวัสดุอื่น ๆ เช่น วัสดุสังเคราะห์ เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

กรมประมง. 2552. สถิติการเลี้ยงกุ้งทะเล ประจำปี 2550. เอกสารฉบับที่ 10/2552. ศูนย์สารสนเทศ กรมประมง. กรุงเทพฯ. 50 หน้า.

กรมประมง. 2553. สถิติการประมงแห่งประเทศไทย พ.ศ. 2551. เอกสารฉบับที่ 12/2553. ศูนย์สารสนเทศ กรมประมง. กรุงเทพฯ. 96 หน้า.

กาญจนภาชน์ ลิ่วมโนมนต์. 2527. สาหร่าย. คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 343 หน้า.

คณิต ไชยาคำ, พุทธ ส่องแสงจินดา และดุสิต ตันวิไลย. 2535. คุณสมบัติน้ำและผลผลิตในการจัดการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา 2 ระบบในบริเวณจังหวัดสงขลา. เอกสารวิชาการฉบับที่ 11/2535. สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง. สงขลา. 14 หน้า.

จริยาวดี สุริยพันธุ์, ชัชรี แก้วสุรลิขิต, ชนัดดา เกตุมา, ชลอ ลิ้มสุวรรณ, นิติ ชูเชิด, สาธิต ประเสริฐศรี, เดชานาท ทองพิทักษ์ และประยูร หงส์รัตน์. 2551. ผลของสาหร่ายไส้ไก่ (*Ulva intestinalis* Linnaeus) ต่อสัตว์หน้าดินในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon* Fabricius). **ใน** เรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 46: สาขาประมง. กรุงเทพฯ. หน้า 210-219.

ชฎา ฉรงค์ฤทธิ์. 2525. ผลกระทบจากการทำนากุ้งในพื้นที่ป่าชายเลนต่อคุณสมบัติของดิน บริเวณอำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ดุสิต ตันวิไลย, พุทธ ส่องแสงจินดา และคณิต ไชยาคำ. 2536. การเปลี่ยนแปลงปริมาณและคุณภาพตะกอนดินในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา. เอกสารวิชาการฉบับที่ 5/2536. สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง. สงขลา. 14 หน้า.

นิรนาม. 2554. สัตว์หน้าดิน. สืบค้นจาก http://www.kungthai.com/benthos.html. เมื่อวันที่ 30 กรกฎาคม 2554.

ประยูร หงส์รัตน์, ชลอ ลิ้มสุวรรณ, นิติ ชูเชิด และชัชรี แก้วสุรลิขิต. 2549. การเลี้ยงกุ้งกุลาดำร่วมกับสาหร่ายไส้ไก่. เอกสารเผยแพร่ ปี 2549. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. กรุงเทพฯ. 15 หน้า.

ประหยัด มะหมัด. 2547. การใช้สาหร่ายทะเลบำบัดคุณภาพน้ำในระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยบูรพา.

เพ็ญศรี เมืองเยาว์, สมหมาย เชี่ยววารีสัจจะ, เสาวภา อังสุภานิช และพุทธ ส่องแสงจินดา. 2554. ผลของสาหร่ายไส้ไก่ (*Ulva intestinalis* Linnaeus) ต่อการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรมีชีวิตในระบบนิเวศของบ่อน้ำกร่อยจำลองขนาดเล็ก. วารสารการประมง 64 : 119-128.

พุทธ ส่องแสงจินดา. 2537. สหสัมพันธ์เชิงเส้นของตัวแปรคุณภาพน้ำกับข้อมูลการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาในเขตอำเภอระโนด จังหวัดสงขลา. เอกสารวิชาการฉบับที่ 10/2537. สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง. สงขลา. 11 หน้า.

พุทธ ส่องแสงจินดา, ธิญาภรณ์ แก้วทวี และเพ็ญศรี เมืองเยาว์. 2547. การประเมินคุณภาพน้ำทิ้งและดุลไนโตรเจนของการเลี้ยงกุ้งกุลาดำระบบเปิดและระบบปิดหมุนเวียน. การประชุมวิชาการกุ้งทะเลแห่งชาติครั้งที่ 5. ณ โรงแรมมิราเคิล แกรนด์ คอนเวนชั่น กรุงเทพฯ. วันที่ 29-30 มีนาคม 2547. หน้า 190-200.

พุทธ ส่องแสงจินดา, วลีรัตน์ มูสิกะสังข์ และกฤษณา องอาจ. 2553 . ผลของสภาวะไร้ออกซิเจนต่อการแลกเปลี่ยนสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากชั้นดินตะกอน-น้ำ ในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ. การประชุมวิชาการกรมประมง ประจำปี 2553. หน้า 9-24.

ยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร, เพิ่มศักดิ์ เพิงมาก, พุทธ ส่องแสงจินดา, ศุภโยค สุวรรณมณี และวิชาญ ชูสุวรรณ. 2532. การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา. เอกสารวิชาการ ฉบับที่ 10/2532. สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง. สงขลา. 20 หน้า

ยุวดี พีรพรพิศาล. 2546. สาหร่ายวิทยา. ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่. 497 หน้า.

ลัดดา วงศ์รัตน์. 2541. แพลงก์ตอนสัตว์. ภาควิชาชีววิทยาประมง คณะประมง. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 787 หน้า.

ลัดดา วงศ์รัตน์. 2542. แพลงก์ตอนพืช. ภาควิชาชีววิทยาประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 851 หน้า.

วนิช วารีกุล. 2523. หนอนแดง. วารสารการประมง 33 : 331-335.

เสาวภา อังสุภานิช, สุทิน สมศักดิ์ และจุฑาทิพย์ พร้อมมูล. 2548. องค์ประกอบของอาหารในกระเพาะปลากดหัวอ่อน *Osteogeneiosus militaris* (Linnaeus, 1758) และปลากดหัวแข็ง *Arius maculatus* (Thunberg, 1792) ในทะเลสาบสงขลา. วารสารสงขลานครินทร์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 27 : 391-402.

อนันต์ ตันสุตะพานิช. 2542. แนวทางฟื้นฟูการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (การเลี้ยงกุ้งระบบรีไซเคิลในมิติประหยัดลดมลพิษ และใช้ทรัพยากรยั่งยืน). ศูนย์พัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งฉะเชิงเทรา. ฉะเชิงเทรา. 34 หน้า.

อลิสา โชควิวัฒนวนิช. 2543. ประสิทธิภาพของสาหร่ายช่อพริกไทย *Caulerpa lentillifera* และสาหร่ายหนาม *Acanthophora spicifera* ในการบำบัดสารประกอบไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Alonso-Rodríguez, R. and F. Páez-Osuna. 2003. Nutrients, phytoplankton and harmful algal blooms in shrimp ponds: A review with special reference to the situation in the Gulf of California. Aquaculture 219 : 317–336

Ambasankar, K., S. A. Ali and J. S. Dayal. 2006. Effect of dietary phosphorus on growth and its excretion in tiger shrimp, *Penaeus monodon*. Asian Fisheries Science 19:21-26.

Angsupanich, S., S. Chiayvareesajja and A. Chandumpai. 1999. Stomach contents of the banana prawns (*Penaeus indicus* and *P. merguiensis*) in Thammalang Bay, Southern Thailand. Asian Fisheries Science 12 : 257-265.

APHA (American Public Health Association). 1985. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. In: A. E. Greenberg, J. J. Connors, D. Jenkins and M. A. H. Franson (eds) 15th ed. American Public Health Publishers. New York. 1134 p.

Appan, A. and T. Ding-Sie. 1996. A laboratory study of sediment phosphorus flux in two tropical reservoirs. Water Science and Technology 34 : 45-52.

Arvin, P. L. 1977. Introduction to the Common Marine Zooplankton of Peninsular Malaysia. Division of Fisheries and Marine Science, University Pertanian Malaysia. 40 p.

Avnimelech, Y. and G. Ritvo. 2003. Shrimp and fish pond soils: Processes and management. Aquaculture 220 : 549–567.

Bendschneider, K. and J. R. Robinson. 1952. A new spectrophotometric method for the determination of nitrite in seawater. Journal of Marine Research 11: 87-96.

Beutel, M. W. 2006. Inhibition of ammonia release from anoxic profundal sediments in lakes using hypolimnetic oxygenation. Ecological Engineering 28: 271-279.

Beveridge, M. C. M., L. G. Ross and L. A. Kelly. 1994. Aquaculture and biodiversity. Ambio 23 : 497–502.

Bombeo-Tuburan, I., N. G. Guanzon Jr. and G. L. Schroeder. 1993. Production of *Penaeus monodon* (Fabricius) using four natural food types in an extensive system. Aquaculture 112 : 56-65.

Boyd, C. E., C. W. Wood and T. Thunjai. 2002. Aquaculture Pond Bottom Soil Quality Management. Pond Dynamics/Aquaculture CRSP, Oregon State University, Corvallis, Oregon. 41 pp.

Brown, J. J. and E. P. Glenn. 1999. Management of saline aquaculture effluent through the production of halophyte crops. World Aquaculture 30 : 44-49.

Brown, J. J., E. P. Glenn, K. M. Fitzsimmons and S. Smith. 1999. Halophytes for the treatment of saline aquaculture effluent. Aquaculture 175 : 255-268.

Burford, M. A. and K. Lorenzen. 2004. Modelling nitrogen dynamics in intensive shrimp ponds: The role of sediment remineralization. Aquaculture 229 : 129-145.

Chen, J. C., P. C. Liu and S. C. Lei. 1990. Toxicities of ammonia and nitrite to *Penaeus monodon* adolescents. Aquaculture 89 : 127-137.

Chien, Y-H. 1989. The management of sediment in prawn ponds. Paper presented in the III Brazilian Shrimp Farming Congress, JOAO-PB-Brazil. October 16-20, 1989. p 108.

Chua, T. E., J. N. Paw and F. Y. Guarin. 1989. The environmental impact of aquaculture and the effects of pollution on coastal aquaculture development in southeast Asia. Marine Pollution Bulletin 20 : 335-343.

Cohen, R.A. and P. Fong. 2004. Nitrogen uptake and assimilation in *Enteromorpha intestinalis*: Using 15N to determine preference during simultaneous pulses of nitrate and ammonium. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 309 : 67-77.

Dall, W. 1968. Food and feeding of some Australian penaeid shrimps. FAO Fisheries Report Series 57:251-258.

Duarte, C. M. 1995. Submerged aquatic vegetation in relation to different nutrient regimes. Ophelia 41 : 87–112.

Duke, C. S., W. Litaker and J. Ramus. 1989. Effects of temperature, nitrogen supply, and tissue nitrogen on ammonium uptake rates of the Chlorophyte seaweeds *Ulva curvata* and *Codium decorticatum*. Journal of Phycology 25 : 113–120.

Elred, B., R. M. Ingle, K. D. Woodburn, R. F. Hutton and H. Jones. 1961. Biological observations on the commercial shrimp, *Penaeus duorarum* Burkenroad, in Florida waters. Florida State Board of Conservation. Prof. Paper. Series No 3:1-139.

Erez, J., M. D. Krom and T. Neuwirth. 1990. Daily oxygen variation in marine fish ponds, Elat, Israel. Aquaculture 84 : 289-305.

FAO. 2010. Fishery and Aquaculture Statistics Yearbook 2008. Rome, FAO. 72 p.

Field, A. 2008. Repeated Measures ANOVA using SPSS. In : Research Methods in Psychology. C8057. 23 p. Available on http://printfu.org/read/repeated-measures-anova-26fe.html accessed on 1 January 2011.

Focken, U., A. Groth, R. M. Coloso and K. Becker. 1998. Contribution of natural food and supplemental feed to the gut content of *Penaeus monodon* Fabricius in a semi-intensive pond system in the Philippines. Aquaculture 164 : 105-116.

Fong, P., F. J. Jon and C. R. Fong. 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.

Fong, P., E. Katharyn, J. Boyer and B. Zedler. 1998. Developing an indicator of nutrient enrichment in coastal estuaries and lagoons using tissue nitrogen content of the opportunistic alga, *Enteromorpha intestinalis* (L. Link). Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 231: 63-79.

Fong, P., B. E. Katharyn, D. S. Julie and J. B. Zedler. 1996. Salinity stress, nitrogen competition and facilitation : What controls seasonal succession of two opportunistic green macroalgae? Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 206 : 203-221.

Fugita, R.M. 1985. The role of nitrogen status in regulating transient ammonium uptake and nitrogen storage by macroalgae. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 92 : 283–301.

Funge-Smith, S. J. and M. R. P. Briggs. 1998. Nutrient budgets in intensive shrimp ponds: Implications for sustainability. Aquaculture 164 : 117–134.

George, M. J. 1974. The food of the shrimp *Metapenaeus monoceros* (Fabricius) caught from the backwaters. Ibid 21 : 495-500.

Gillott, C. 1995. Entomology 2nd edition. A division of Plenum Publishing Corporation. New York. 798 p.

Gómez-Aguirre, S. and L. R. Martínez-Córdova. 1998. El Fitoplancton. In: L. R. Martı´nez-Co´rdova (ed.), Ecologı´a de los sistemas acuı´colas. AGT Editor, Me´xico, D.F., pp. 77–94 (in Spanish).

Gowen, R. J., H. Rosenthal, T. Maekinen and I. Ezzi. 1990. Environmental impact of aquaculture activities. European Aquaculture Society Special Publication 12 : 257–283.

Guiry, M. D. and G. M. Guiry. 2011. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. http://www.algaebase.org; searched on 09 October 2011.

Gullan, P. J. and P. S. Cranston. 2005. The Insects : An Outline of Entomology 3rd edition. Blackwell Publishing. USA. 505 p.

Hansen, H. P. and F. Koroleff. 1999. Determine of nutrients. In: K., Grasshoff, K. Kremling and M. Ehrhardt (eds.), Methods of Seawater Analysis, 3rded, Chapter 10. Weinheim. New York. pp. 159-228.

Hargreaves, J. A. 1998. Nitrogen biochemistry of aquaculture ponds. Aquaculture 166 : 181–212.

Kamer, K. and P. Fong 2001. Nitrogen enrichment ameliorates the negative effects of reduced salinity on the green macroalga *Enteromorpha intestinalis*. Marine Ecology Progress Series 218 : 87–93.

Kamer, K., P. Fong, R. Kennison and K. Schiff. 2004. Nutrient limitation of the macroalga *Enteromorpha intestinalis* collected along a resource gradient in a highly eutrophic estuary. Estuaries 27 : 201-208.

Krom , M. D., S. Ellner, J. van Rijn and A. Neori. 1995. Nitrogen and phosphorus cycling and transformations in a prototype 'non-polluting' integrated mariculture system, Eilat, Israel. Marine Ecology Progress Series 118 : 25-36.

Kutner, M., C. Nachtsheim and J. Neter. 2004. Applied Linear Regression Models, 4th edition, McGraw-Hill Publisher. New York. 1424 p.

Kuttayama, V. J. 1974. Observations on the food and feeding habits of some penaeid prawns of Cochin area. Journal of the Marine Biological Association of India 15 : 189-194.

Kwak, T. J. and J. B. Zedler. 1997. Food web analysis of southern California coastal wetlands using multiple stable isotopes. Oecologia 110 : 262–277.

Lewmanomont, K. and H. Ogawa. 1995. Common Seaweeds and Seagrasses of Thailand. Integrated Promotion Technology. Bangkok. 163 p.

Liao, I. C. 1992. Marine prawn culture industry of Taiwan. In: A. L. Fast and L. J. Lester (eds.), Marine Shrimp Culture: Principles and Practices. Elsevier, New York. pp. 653–675.

Lombardi, J. V., H.L.A. Marques, R.T.L. Pereira, O. J. S. Barreto and E. J. Paula. 2006. Cage polyculture of the Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* and the Philippines seaweed *Kappaphycus alvarezii.* Aquaculture 258 : 412–415.

Madenjian, C. P., 1990. Patterns of oxygen production and consumption in intensively managed marine shrimp ponds. Aquaculture and Fisheries Management 21 : 407-417.

Martinez-Cordova, L. R., A. Campaña Torres and M. A. Porchas-Cornejo. 2003. Dietary protein level and natural food management in the culture of blue (*Litopenaeus stylirostris*) and white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) in microcosms. Aquaculture Nutrition 9 : 155-160.

Martins, I., J. M. Oliveira, M. R. Flindt and J. C. Marques. 1999. The effect of salinity on the growth rate of the macroalgae *Enteromorpha intestinalis* (Chlorophyta) in the Mondego estuary (west Portugal). Acta Oecologica 20: 259-265.

McAllen, R. 1999. *Enteromorpha intestinalis*—a refuge for the supralittoral rockpool harpacticoid copepod *Tigriopus brevicornis*. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom 79 : 1125-1126.

Messyasz, B. and A. Rybak. 2008. Macroalga *Ulva intestinalis* (L.) occurence in freshwater ecosystems of Poland: A new locality in Wielkopolska. Teka Kom. Ochr. Kszt. Środ. Przyr. – OL PAN. 5: 126–135.

Mirzoyan, N., S. Parnes, A. Singer, Y. Tal, K. Sower and A. Gross. 2008. Quality of brackish aquaculture sludge and its suitability for anaerobic digestion and methane production in an upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor. Aquaculture 279: 35-41.

Montoya, R. A., A. L. Lawrence, W. E. Grant and M. Velasco. 2000. Simulation of phosphorus dynamics in an intensive shrimp culture system: Effects of feed formulations and feeding strategies. Ecological Modelling 129 : 131–142.

Moorthy, M. S. and K. Altaff. 2002. Role of natural productivity in midified extensive shrimp pond growing *Penaeus monodon* (Penaeidae, Crustacea). Indian Journal of Marine Science 31 : 195-200.

Moriarty, D. J. W. 1997. The role of microorganisms in aquaculture ponds. Aquaculture 151 : 333-349.

Motoh, H. 1981. Studies on the fisheries biology of the giant tiger prawn, *Penaeus monodon* in the Philippines, Technical Report No. 7 AQD, SEAFDEC, Iloilo, Philippines. pp.128.

Nandakumar, G. and R. Damodaran. 1998. Food and feeding habits of the speckled shrimp *Metapenaeus monoceros* (Fabricius). Journal of the Marine Biological Association of India 40 : 30-43.

Naylor, R., R. Goldberg, H. Mooney, M. Beveridge, J. Clay, C. Folke, N. Kautsky, J. Lubchenco, J. Primavera and M. Williams. 1998. Nature's subsidies to shrimp and salmon farming. Science 283 : 883–884.

Nedwell, D.B. and M. Trimmer. 1996. Nitrogen fluxes through the upper estuary of the Great Ouse, England: The role of the bottom sediments. Marine Ecology Progress Series 142: 273-286.

Neori, A., M.D. Krom, S. P. Ellner, C.E. Boyd, D. Popper, R. Rabinovitch, P. J. Davison, O. Dvir, D. Zuber, M. Ucko, D. Angel and H. Gordin. 1996. Seaweed biofilters as regulators of water quality in integrated fish-seaweed culture units. Aquaculture 141 : 183-199.

Newell, R. I. E. 2004. Ecosystem influences of natural and cultivated populations of suspension-feeding bivalve molluscs: A review. Journal of Shellfish Research 23:51-61.

Nunes, A. J. P., T. C. V. Gesteira and S. Goddard. 1997. Food ingestion and assimilation by the southern brown shrimp *Penaeus subtilis* under semi-intensive culture in NE Brazil. Aquaculture 149 : 121-136.

Páez-Osuna, F. 2001. The environmental impact of shrimp aquaculture : A global perspective. Environmental Pollution 112 : 229-231.

Phillips, M. J., M. C. M. Beveridge and R. M. Clarke. 1991. Impact of aquaculture on water resources. In: D. E. Brune and J. R. Tomasso (eds.), Aquaculture and Water Quality. Advances in World Aquaculture. World Aquaculture Society. Baton Rouge, Louisiana. pp. 568–591.

Phillips, M. J., C. K. Lin and M. C. M. Beveridge. 1993. Shrimp culture and the environment: Lessons from the world's most rapidly expanding warmwater aquaculture sector. In: R. S. V. Pullin, H. Rosenthal and J. L. Maclean (eds.), Environment and Aquaculture in Developing Countries. Proceedings of the ICLARM Conference. ICLARM, Bangkok, Thailand. pp. 171–197.

Primavera, J. H. and J. Lebata. 1995. Diel activity patterns in *Metapenaeus* and *Penaeus* juveniles. Hydrobiologia 295 : 295-302.

Ranjitham, N. S., G. Thirumaran, P. Anantharaman, V. D. R. Nightingale and R. Balasubramanian. 2008. Associated fauna of seaweeds and seagrasses in Vellar Estuary. American-Eurasian Journal of Botany 1 : 9-16.

Rao, G. S. 1988. Studies on the feeding biology of *Metapenaeus monoceros* (Fabricius) along the Kakinada coast. Journal of the Marine Biological Association of India 30 : 171-181.

Sandifer, P.A. and J.S. Hopkins. 1996. Conceptual design of a sustainable pond-based shrimp culture system. Aquacultural Engineering 15 : 41-52.

Sand-Jensen, K. and D. Krause-Jensen. 1997. Broad-scale comparison of photosynthesis in terrestrial and aquatic plant communities. Oikos 80 : 203-208.

Santschi, P., P. Höhener, G. Benoit and M.B-T. Brink. 1990. Chemical processes at the sediment-water interface. Marine Chemistry 30 : 269-315.

Sasaki, K. and Y. Sawada. 1980. Determination of ammonia in estuary. Bulletin of Japanese Society of Science and Fisheries 46: 319-321.

Schober, J., G. Lima and U. Focken. 2007. Analysis of soil nutrients and organic matter in organic and conventional marine shrimp ponds at Guaraira Lagoon, Rio Grande do Norte State, Brazil. Available from http://orgprints.org/9911/1/9911_Schober_Vortrag.pdf. Accessed on 1 September 2011.

Shishehchian, F., F.M. Yusoff, M.S. Kamarudin and H. Omar. 1999. Nitrogenous excretion of *Penaeus monodon* post larvae fed with different diets. Marine Pollution Bulletin 39 : 224-227.

Smith, P. T. 1996. Physical and chemical characteristics of sediments from prawn farms and mangrove habitats on the Clarence River, Australia. Aquaculture 146 : 47-83.

Songsangjinda, P., N. Matsui, P. Muangyao, M. Nogami and S. Havanon. 2006. Silvo-aquaculture: Case study of mud crab (*Scylla serrata*) and black tiger shrimp (*Penaeus monodon*) culture in mangrove replanted shrimp pond. ประมวลผลงานวิจัย การประชุมวิชาการระบบนิเวศป่าชายเลนแห่งชาติ 2550. กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. หน้า 515-525.

Stanley, B. 1993. Thailand shrimp farming brings wealth problems. The Aquaculture News 6. pp. 28.

Strickland, J.D.H. and T.R. Parsons. 1972. A practical handbook of seawater analysis. (2nd ed.) Bulletin of Fisheries Research Board of Canada 167: 311 p.

Subrahmanyam, M. 1973. Fishery and biology of *Metapenaeus monoceros* (Fabricius) from the Godavari estuarine system. Indian Journal of Fisheries 20 : 95-107.

Sze, P. 1986. Benthic Marine Algae. A Biology of the Algae. Wm. C. Brown Publishers. Georgetown. pp. 207-227.

Tacon, A. G. J. 1998. The nutrition and feeding of farmed fish and shrimp – A training manual 3. Feeding methods – fertilization and supplementary diet feeding. FAO Corporate Document Repository. Available from http://www.fao.org/docrep/field/003/AB467E/AB467E00.htm. Accessed on 1 October 2011.

Teichert-Coddington, D. R., D. Martinez and E. Ramírez. 2000. Partial nutrient budgets for semi-intensive shrimp farms in Honduras. Aquaculture 190 : 139–154.

Troell, M., P. Rönnbäck, C. Halling, N. Kautsky and A. Buschmann. 1999. Ecological engineering in aquaculture: Use of seaweeds for removing nutrients from intensive mariculture. Journal of Applied Phycology 11 : 89–97.

Tsutsui, I., P. Kanjanaworakul, P. Srisapoome, D. Aue-umneoy and K. Hamano. 2010. Growth of giant tiger prawn, *Penaeus monodon* Fabricius, under co-culture with a discarded filamentous seaweed, *Chaetomorpha ligustica* (Kützing) Kützing, at an aquarium-scale. Aquaculture International 18 : 545-553.

Vashishta, B. R. 1983. Botany for Degree Students : Part I Algae. S. Chand & Company Ltd. Ram Nagar, New-Delhi. 567 p.

Wajsbrot, N., M.D. Krom, A. Gasith and T. Samocha. 1989. Ammonia excretion of green tiger prawn *Penaeus semisulcatus* as a possible limit on the biomass density in shrimp ponds. The Israeli Journal of Aquaculture- Bamidgeh 41 : 159-164.

Wang, J-K. 1990. Managing shrimp pond water to reduce discharge problems. Aquacultural Engineering 9 : 61-73.

Wickins, J. F. 1985. Organic and inorganic levels in recycled seawater during the culture of tropical prawns *Penaeus* sp. Aquacultural Engineering 4 : 59-84.

Williams, A. B. 1955. A contribution to the life histories of commercial shrimps (Penaeidae) in N. Carolina. Bulletin of Marine Science of the Gulf and Caribbean 5 : 116-146.

Williams, S. L. 1984. Uptake of sediment ammonium and translocation in a marine green macroalga *Caulerpa cupressoides*. Limnology and Oceanography 29:374–379.

Willson, M.S. and H.C. Yeatman. 1959. Free-living copepod. In: W. T. Edmonson, (ed.), Fresh-Water Biology. John Wiley and Sons, New York. pp 735-861.

Wu, R. S. S., K. S. Lam, D. W. Mackay, T. C. Lau and V. Yam. 1994. Impact of marine fish farming on water quality and bottom sediment: A case study of the sub-tropical environment. Marine Environmental Research 38 : 115–145.

Xia, L. Z., L. Z. Yang and M. C. Yan. 2004. Nitrogen and phosphorus cycling in shrimp ponds and the measures for sustainable management. Environmental Geochemistry and Health 26 : 245-251.

Yamaji, I. 1979. Illustration of the Marine Plankton of Japan. HoiKusha Publishing Co.Ltd. Osaka. 537 p.

Yashouv, A. 1970. Biological basis for mass propagation of chironomid larva. Bamidgeh 22 : 101-105.

Zaggia, L., J. Rosso and R. Zonta. 2007. Sulphate reduction in the sediment of the Venice canals (Italy). Marine Pollution Bulletin 55 : 415-424.

ภาคผนวก

ตารางภาคผนวกที่ 1 ปริมาณการหมุนเวียนไนโตรเจนในหน่วยย่อยต่างๆ ในบ่อเลี้ยงกุ้งที่ไม่มีการให้อาหารสำเร็จรูป (T1) ในระยะเวลาเลี้ยง 5 สัปดาห์

หน่วยย่อย	Input		output	
	กระบวนการ	(gN/pond)	กระบวนการ	(gN/pond)
phytoplankton	(1) phytoplankton input	0.007	(2) phytoplankton output	0.106
	(3) phytoplankton assimilation	3.693	(4) phytoplankton sink	3.594
	net	3.700	net	3.700
Gutweed	(5) gutweed input	-	(7) gutweed output	-
	(6) gutweed assimilation	-	(8) gutweed sink	-
	net	-	net	-
Water	(9) water input	0.062	(11) water output	0.528
	(10) water addition	0.352	(3) phytoplankton assimilation	3.693
	(12) excretion+flux+raking	3.807	(6) gutweed assimilation	-
	net	4.221	net	4.221
Shrimp	(13) shrimp input	0.036	(15) shrimp output	0.959
	(14) feed input	-	(16) shrimp excretion	2.877
	(17) natural productivity	3.800		
	net	3.836	net	3.836
Sediment	(20) sediment input	4.290	(17) natural productivity	3.800
	(4) phytoplankton sink	3.594	(18) sediment raking	0.481
	(8) gutweed sink	-	(19) sediment net flux	0.449
			(21) sediment output	3.070
			(22) denitrification	0.084
	net	7.884	net	7.884
			(23) net accumulation	-1.220

ตารางภาคผนวกที่ 2 ปริมาณการหมุนเวียนไนโตรเจนในหน่วยย่อยต่างๆ ในบ่อเลี้ยงกุ้งที่มีการให้อาหารสำเร็จรูป (T2) ในระยะเวลาเลี้ยง 5 สัปดาห์

หน่วยย่อย	Input		output	
	กระบวนการ	(gN/pond)	กระบวนการ	(gN/pond)
phytoplankton	(1) phytoplankton input	0.007	(2) phytoplankton output	0.099
	(3) phytoplankton assimilation	5.166	(4) phytoplankton sink	5.074
	net	5.173	net	5.173
Gutweed	(5) gutweed input	-	(7) gutweed output	-
	(6) gutweed assimilation	-	(8) gutweed sink	-
	net	-	net	-
Water	(9) water input	0.062	(11) water output	0.623
	(10) water addition	0.352	(3) phytoplankton assimilation	5.166
	(12) excretion+flux+raking	5.375	(6) gutweed assimilation	-
	net	5.789	net	5.789
Shrimp	(13) shrimp input	0.036	(15) shrimp output	1.694
	(14) feed input	2.120	(16) shrimp excretion	5.082
	(17) natural productivity	4.620		
	net	6.776	net	6.776
Sediment	(20) sediment input	4.290	(17) natural productivity	4.620
	(4) phytoplankton sink	5.074	(18) sediment raking	0.479
	(8) gutweed sink	-		
	(19) sediment net flux	0.186	(21) sediment output	4.439
			(22) denitrification	0.012
	net	9.550	net	9.550
			(23) net accumulation	0.149

ตารางภาคผนวกที่ 3 ปริมาณการหมุนเวียนไนโตรเจนในหน่วยย่อยต่างๆ ในบ่อเลี้ยงกุ้งที่ไม่มีการให้อาหารสำเร็จรูปแต่ปลูกสาหร่ายไส้ไก่ (T3) ในระยะเวลาเลี้ยง 5 สัปดาห์

หน่วยย่อย	Input		output	
	กระบวนการ	(gN/pond)	กระบวนการ	(gN/pond)
phytoplankton	(1) phytoplankton input	0.007	(2) phytoplankton output	0.105
	(3) phytoplankton assimilation	2.031	(4) phytoplankton sink	1.933
	net	2.038	net	2.038
Gutweed	(5) gutweed input	0.091	(7) gutweed output	0.527
	(6) gutweed assimilation	4.922	(8) gutweed sink	4.486
	net	5.013	net	5.013
Water	(9) water input	0.062	(11) water output	0.300
	(10) water addition	0.352	(3) phytoplankton assimilation	2.031
	(12) excretion+flux+raking	6.839	(6) gutweed assimilation	4.922
	net	7.253	net	7.253
Shrimp	(13) shrimp input	0.036	(15) shrimp output	1.403
	(14) feed input	-	(16) shrimp excretion	4.209
	(17) natural productivity	5.576		
	net	5.612	net	5.612
Sediment	(20) sediment input	4.290	(17) natural productivity	5.576
	(4) phytoplankton sink	1.933	(18) sediment raking	0.479
	(8) gutweed sink	4.486	(19) sediment net flux	2.151
			(21) sediment output	2.502
			(22) denitrification	0.001
	net	10.709	net	10.709
			(23) net accumulation	-1.788

ตารางภาคผนวกที่ 4 ปริมาณการหมุนเวียนฟอสฟอรัสในหน่วยย่อยต่างๆ ในบ่อเลี้ยงกุ้งที่ไม่มีการให้อาหารสำเร็จรูป (T1) ในระยะเวลาเลี้ยง 5 สัปดาห์

หน่วยย่อย	Input		output	
	กระบวนการ	(gP/pond)	กระบวนการ	(gP/pond)
phytoplankton	(1) phytoplankton input	0.001	(2) phytoplankton output	0.014
	(3) phytoplankton assimilation	0.233	(4) phytoplankton sink	0.220
	net	0.234	net	0.234
Gutweed	(5) gutweed input	-	(7) gutweed output	-
	(6) gutweed assimilation	-	(8) gutweed sink	-
	net	-	net	-
Water	(9) water input	0.018	(11) water output	0.047
	(10) water addition	0.005	(3) phytoplankton assimilation	0.233
	(12) excretion+flux+raking	0.257	(6) gutweed assimilation	-
	net	0.280	net	0.280
Shrimp	(13) shrimp input	0.003	(15) shrimp output	0.076
	(14) feed input	-	(16) shrimp excretion	0.002
	(17) natural productivity	0.075		
	net	0.078	net	0.078
Sediment	(20) sediment input	0.865	(17) natural productivity	0.075
	(4) phytoplankton sink	0.220	(18) sediment raking	0.010
	(8) gutweed sink	-	(19) sediment net flux	0.245
			(21) sediment output	0.755
	net	1.085	net	1.085
			(23) net accumulation	-0.110

ตารางภาคผนวกที่ 5 ปริมาณการหมุนเวียนฟอสฟอรัสในหน่วยย่อยต่างๆ ในบ่อเลี้ยงกุ้งที่มีการให้อาหารสำเร็จรูป (T2) ในระยะเวลาเลี้ยง 5 สัปดาห์

หน่วยย่อย	Input		output	
	กระบวนการ	(gP/pond)	กระบวนการ	(gP/pond)
phytoplankton	(1) phytoplankton input	0.001	(2) phytoplankton output	0.013
	(3) phytoplankton assimilation	0.296	(4) phytoplankton sink	0.284
	net	0.297	net	0.297
Gutweed	(5) gutweed input	-	(7) gutweed output	-
	(6) gutweed assimilation	-	(8) gutweed sink	-
	net	-	net	-
Water	(9) water input	0.018	(11) water output	0.195
	(10) water addition	0.005	(3) phytoplankton assimilation	0.296
	(12) excretion+flux+raking	0.468	(6) gutweed assimilation	-
	net	0.491	net	0.491
Shrimp	(13) shrimp input	0.003	(15) shrimp output	0.134
	(14) feed input	0.232	(16) shrimp excretion	0.003
	(17) natural productivity	-0.098		
	net	0.137	net	0.137
Sediment	(20) sediment input	0.865	(17) natural productivity	-0.098
	(4) phytoplankton sink	0.284	(18) sediment raking	0.011
	(8) gutweed sink	-	(19) sediment net flux	0.454
			(21) sediment output	0.782
	net	1.149	net	1.149
			(23) net accumulation	-0.083

ตารางภาคผนวกที่ 6 ปริมาณการหมุนเวียนฟอสฟอรัสในหน่วยย่อยต่างๆ ในบ่อเลี้ยงกุ้งที่ไม่มีการให้อาหารสำเร็จรูปแต่ปลูกสาหร่ายไส้ไก่ (T3) ในระยะเวลาเลี้ยง 5 สัปดาห์

หน่วยย่อย	Input		output	
	กระบวนการ	(gP/pond)	กระบวนการ	(gP/pond)
phytoplankton	(1) phytoplankton input	0.001	(2) phytoplankton output	0.014
	(3) phytoplankton assimilation	0.135	(4) phytoplankton sink	0.122
	net	0.136	net	0.136
Gutweed	(5) gutweed input	0.013	(7) gutweed output	0.077
	(6) gutweed assimilation	0.597	(8) gutweed sink	0.533
	net	0.610	net	0.610
Water	(9) water input	0.018	(11) water output	0.071
	(10) water addition	0.005	(3) phytoplankton assimilation	0.135
	(12) excretion+flux+raking	0.780	(6) gutweed assimilation	0.597
	net	0.803	net	0.803
Shrimp	(13) shrimp input	0.003	(15) shrimp output	0.111
	(14) feed input	-	(16) shrimp excretion	0.002
	(17) natural productivity	0.110		
	net	0.113	net	0.113
Sediment	(20) sediment input	0.865	(17) natural productivity	0.110
	(4) phytoplankton sink	0.122	(18) sediment raking	0.010
	(8) gutweed sink	0.533	(19) sediment net flux	0.768
			(21) sediment output	0.632
	net	1.520	net	1.520
			(23) net accumulation	-0.233

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นางสาวเพ็ญศรี เมืองเยาว์

รหัสประจำตัวนักศึกษา 5010620051

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตรบัณฑิต (วาริชศาสตร์)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่	2542

ตำแหน่งและสถานที่ทำงาน

นักวิชาการประมงปฏิบัติการ สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง จ.สงขลา

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

เพ็ญศรี เมืองเยาว์, สมหมาย เชี่ยววารีสัจจะ, เสาวภา อังสุภานิช และพุทธ ส่องแสงจินดา. 2554. ผลของสาหร่ายไส้ไก่ (*Ulva intestinalis* Linnaeus) ต่อการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรมีชีวิตในระบบนิเวศของบ่อน้ำกร่อยจำลองขนาดเล็ก. วารสารการประมง 64 : 119-128.