พืชน้ำชนิดที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงปลาทอง (*Carassius auratus*) ในระบบปิด

Appropriate Aquatic Plants Species for Gold Fish (*Carassius auratus*) Closed Culture System.

วรรณี กลับนวน

Wannee Klubnuan

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวาริชศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Science in Aquatic Science
Prince of Songkla University
2553

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ พืชน้ำชนิดที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงปลาทอง (*Carassius auratus*) ในระบบปิด

ผู้เขียน นางสาววรรณี กลับนวน

สาขาวิชา วาริชศาสตร์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมหมาย เชี่ยววารีสัจจะ)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จารุณี เชี่ยววารีสัจจะ)

คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ พิมพรรณ ตันสกุล)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมหมาย เชี่ยววารีสัจจะ)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จารุณี เชี่ยววารีสัจจะ)

.....กรรมการ

(ดร.พุทธ ส่องแสงจินดา)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวาริชศาสตร์

.....

(ศาสตราจารย์ ดร.อมรรัตน์ พงศ์ดารา)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์	พืชน้ำชนิดที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงปลาทอง (*Carassius auratus*) ในระบบปิด
ผู้เขียน	นางสาววรรณี กลับนวน
สาขาวิชา	วาริชศาสตร์
ปีการศึกษา	2553

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาชนิดและความหนาแน่นของพืชน้ำที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำสำหรับการเลี้ยงร่วมกับปลาทองในระบบปิดดำเนินการทดลอง 3 การทดลอง ในการทดลองแรกศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจน และฟอสฟอรัสของสาหร่ายหางกระรอก สาหร่ายพุงชะโด และสาหร่ายข้าวเหนียว ที่ความหนาแน่น 2.5 ก./ล. เพื่อคัดเลือกพืชน้ำที่มีประสิทธิภาพการบำบัดน้ำสูงที่สุด โดยเลี้ยงพืชน้ำทั้ง 3 ชนิด ในน้ำจากการเลี้ยงปลาทองที่อัตราความหนาแน่น 1 ตัว/น้ำ 3 ล. ในตู้กระจกซึ่งใส่น้ำครั้งเดียว 60 ล. แล้วศึกษาคุณภาพน้ำติดต่อกันเป็นระยะเวลา 5 วัน พบว่าสาหร่ายข้าวเหนียวมีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการบำบัดแอมโมเนีย (20.13 %) ไนเตรท (28.78 %) และออร์โธฟอสเฟต (27.62 %) โดยสาหร่ายข้าวเหนียวสามารถดูดซับแอมโมเนียรวม ไนเตรท และออร์โธฟอสเฟตได้มากที่สุด (0.349, 1.085 และ 0.212 มก./ก.น้ำหนักสด/วัน ตามลำดับ) ส่วนสาหร่ายหางกระรอกสามารถบำบัดไนไตรท์ได้มากที่สุด (72.96 %) โดยสามารถดูดซับไนไตรท์ได้มากที่สุด (0.735 มก./ก.น้ำหนักสด/วัน)

การทดลองที่ 2 ศึกษาความหนาแน่นที่เหมาะสมที่สุดของสาหร่ายข้าวเหนียวสำหรับการบำบัดไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในน้ำจากการเลี้ยงปลาทองระบบปิด โดยเลี้ยงสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. ชุดควบคุม (ไม่มีพืชน้ำ) ในน้ำจากการเลี้ยงปลาทองที่อัตราความหนาแน่น 1 ตัว/น้ำ 3 ล. ในตู้กระจกซึ่งใส่น้ำครั้งเดียว 60 ล. ศึกษาคุณภาพน้ำติดต่อกันเป็นระยะเวลา 5 วัน พบว่าสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 3.5 ก./ล. มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการบำบัดแอมโมเนียรวม (27.21 %) ไนไตรท์ (23.42 %) ไนเตรท (33.24 %) และออร์โธฟอสเฟต (34.64 %) โดยสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 3.5 ก./ล. มีอัตราดูดซับสูงที่สุดในการดูดซับแอมโมเนียรวม (0.267 มก./ก.น้ำหนักสด/วัน) ไนไตรท์ (0.406 มก./ก.น้ำหนักสด/วัน) ไนเตรท (1.141 มก./ก.น้ำหนักสด/วัน) และออร์โธฟอสเฟต (0.163 มก./ก.น้ำหนักสด/วัน)

การทดลองที่ 3 ศึกษาระดับความหนาแน่นของสาหร่ายข้าวเหนียวที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงร่วมกับปลาทองในระบบปิด วางแผนการทดลองแบแฟคทอเรียล ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ โดยใช้ปลาทองขนาด 2.5 ก. ระดับความหนาแน่น 3 ระดับ คือ 0.5, 1 และ 1.5 ตัว/น้ำ 3 ล. เลี้ยงร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 3 ระดับคือ 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. และชุดควบคุม (ไม่ใส่สาหร่ายข้าวเหนียว) เป็นระยะเวลา 56 วัน ในตู้กระจกซึ่งบรรจุน้ำใบละ 60 ล. โดยในตู้ทดลองมีตาข่ายกั้นระหว่างปลาทองกับสาหร่ายข้าวเหนียวพร้อมทั้งมีการใช้เครื่องกรองน้ำแบบติดข้างตู้ พบว่าปลาทองความหนาแน่น 1 ตัว/น้ำ 3 ล. เลี้ยงร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 2.5 ก./ล. มีอัตราการเจริญเติบโตมากที่สุด (0.057 ก./วัน) ประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนียรวม ไนไตรท์ ไนเตรท และออร์โธฟอสเฟตเท่ากับ 24.06 %, 18.15 %, 45.09 % และ 29.32 % ตามลำดับ อัตราการรอดตายของปลาทองพบว่าชุดการทดลองปลาทองความหนาแน่น 1 ตัว/น้ำ 3 ล. เลี้ยงร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 3.5 ก./ล. มีอัตราการรอดตายมากที่สุด (98.33 %) โดยมีประสิทธิภาพมากที่สุดในการบำบัดแอมโมเนียรวม ไนไตรท์ ไนเตรท และออร์โธฟอสเฟต (38.76 %, 21.80 %, 53.97 % และ 38.46 % ตามลำดับ) ดังนั้นหากมีความต้องการที่จะเลี้ยงปลาทองร่วมกับพืชน้ำควรเลี้ยงปลาทองที่ความหนาแน่น 0.5 หรือ 1 ตัว/น้ำ 3 ล. ร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 3.5 ก./ล.

Thesis Title	Appropriate Aquatic Plants Species for Gold Fish (*Carassius auratus*) Closed Culture System.
Author	Ms. Wannee Klubnuan
Major Program	Aquatic Science
Academic Year	2010

ABSTRACT

This study was conducted to search for an appropriate aquatic plant species and density for treating water in goldfish (*Carassius auratus*) closed culture system. The study was comprised of 3 experiments. In the first experiment, a comparative study was made to select the most efficient aquatic plant species for nitrogen and phosphorus removal in the wastewater from closed culture of goldfish. Three aquatic plant species, *Hydrilla verticillata, Ceratophyllum demersum* and *Utricularia aurea*, at a density of 2.5 g/l were grown for 5 days in glass aquaria containing 60 liters of wastewater from goldfish cultured at a density of 1 fish/3 l. It was found that *U. aurea* was the most efficient for removal of ammonia (20.13%), nitrate (28.78%) and orthophosphate (27.62%). The highest uptake rates of ammonia (0.349 mg/g-fw/d), nitrate (1.085 mg/g-fw/d) and orthophosphate (0.212 mg/g-fw/d) were found in *U. aurea* while the highest efficient for removal of nitrite (72.96%) and the highest uptake rates of nitrite (0.735 mg/g-fw/d) were found in *H. verticillata*.

In the second experiment, a study was conducted to determine the most suitable density of *U. aurea* for removal of nitrogen and phosphorus in the wastewater from closed culture of goldfish. *U. aurea*, at densities of 0, 1.5, 2.5 and 3.5 g/l were grown for 5 days in glass aquaria containing 60 liters of wastewater from goldfish cultured at a density of 1 fish/3 l. The highest removal of ammonia (27.21%), nitrite (23.42%), nitrate (33.24%) and orthophosphate (34.64%) was found in *U. aurea* at a density of 3.5 g/l. Moreover, the highest uptake rates of ammonia (0.267 mg/g-fw/d), nitrite (0.406 mg/g-fw/d), nitrate (1.141mg/g-fw/d) and orthophosphate (0.163 mg/g-fw/d) were also found at this density.

In the last experiment, in order to determine the most appropriate density of *U. aurea* and goldfish in a closed culture system, a factorial design with 3 replicates experiment was carried out for 56 days in glass aquaria containing 60 l freshwater and goldfish (2.5 g each) stocked at 3 densities (0.5, 1 and 1.5 fish/ 3 liters of water) and 4 densities (0, 1.5, 2.5 and 3.5 g/l) of *U. aurea*. There was a corner filter and a plastic net for separating goldfish and *U. aurea* in each aquarium. It was found that the goldfish stocked at 1 fish/3 liters of water with *U. aurea* 2.5 g/l showed the highest growth rate (0.057 g/d) and the removal efficiencies of ammonia, nitrite, nitrate and orthophosphate were 24.06%, 18.15%, 45.09% and 29.32%, respectively. The goldfish stocked at 1 fish/3 liters of water with *U. aurea* 3.5 g/l showed the highest survival rate (98.33%). Moreover, the highest removal of ammonia (38.76%), nitrite (21.80%), nitrate (53.97%) and orthophosphate (38.46%) was also found in this system. Therefore, the stocking density of 0.5 or 1 fish/3 liters of water with *U. aurea* 3.5 g/l is recommended for goldfish closed culture system.

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.สมหมาย เชี่ยววารีสัจจะ ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูงที่กรุณาให้คำปรึกษา ช่วยเหลือ สนับสนุน แนะนำชี้แนวทางในการทำวิทยานิพนธ์ กรุณาแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ จนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี นอกจากนี้ท่านยังให้ความกรุณาอบรมสั่งสอน ตลอดเวลาที่ศึกษาอยู่ที่ภาควิชาวาริชศาสตร์และให้ข้อคิดที่เป็นประโยชน์แก่ข้าพเจ้าเป็นอย่างมาก ซึ่งจะนำไปใช้ในการดำเนินชีวิตและการทำงาน ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จารุณี เชี่ยววารีสัจจะ กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นผู้ซึ่งให้คำแนะนำแนวทางและแก้ไขข้อบกพร่องแก่ข้าพเจ้าตลอดมา ขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ พิมพรรณ ตันสกุล ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และดร.พุทธส่องแสงจินดา กรรมการสอบที่กรุณาให้คำแนะนำและแก้ไขข้อบกพร่องเพิ่มเติมทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการทำวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณ คุณศิริญญา งามระลึก ที่คอยให้ความช่วยเหลือในเรื่องของการเก็บตัวอย่างน้ำ และวิเคราะห์น้ำตลอดระยะเวลาการทดลอง คุณวนิดา เพ็ชร์ลมุล และ Mr.Wang Xianwei ที่ช่วยเหลือในเรื่องของการเตรียมอุปกรณ์การทดลอง และการสำรวจพื้นที่เพื่อหาแหล่งพืชน้ำอีกทั้งช่วยเหลือในการเก็บตัวอย่างพืชน้ำเพื่อใช้ในการทำวิจัย คุณจิรวัฒน์ ทัดแก้วที่กรุณาอนุเคราะห์ปลาทองบางส่วนเพื่อใช้ในการทดลอง คุณศุลีมาศ สุทธิเนียมที่คอยให้คำปรึกษาแนวทางและแนวคิดต่าง ๆ ในการทำวิจัยและการดำเนินชีวิต และขอขอบคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ ทั้งระดับปริญญาโท และปริญญาเอก รวมทั้งน้อง ๆ นักศึกษาระดับปริญญาตรี ภาควิชาวาริชศาสตร์ ทุกท่านที่คอยช่วยเหลือ และที่มิได้เอ่ยนามมา ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ ภาควิชาวาริชศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ทุกท่านที่ให้ความกรุณาอบรมสั่งสอนให้ความรู้แก่ข้าพเจ้า ตลอดระยะเวลาที่ข้าพเจ้าได้ศึกษา ณ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ทั้งระดับปริญญาตรีและปริญญาโท ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการและเจ้าหน้าที่สำนักงาน ภาควิชาวาริชศาสตร์ทุกท่านที่ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์และช่วยอำนวยความสะดวกในระหว่างการทดลอง

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่และน้องชายที่ให้ความอุปการะและเป็นกำลังใจที่สำคัญในการศึกษาให้ข้าพเจ้ามีความพยายามจนประสบความสำเร็จในการศึกษาระดับปริญญาโทในครั้งนี้

วรรณี กลับนวน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
Abstract	(5)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญ	(8)
สารบัญตาราง	(9)
สารบัญตารางภาคผนวก	(10)
สารบัญภาพ	(15)
สัญลักษณ์ และคำย่อ	(18)
บทที่	
1. บทนำ	1
บทนำต้นเรื่อง	1
การตรวจเอกสาร	3
วัตถุประสงค์ของการทดลอง	21
2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ	22
วัสดุ อุปกรณ์การทดลอง	22
วิธีการทดลอง	24
3. ผลการทดลอง	31
4. วิจารณ์ผลการทดลอง	64
5. สรุปผลการทดลอง	73
ข้อเสนอแนะ	74
เอกสารอ้างอิง	75
ภาคผนวก	85
ก ตารางผลการทดลอง	86
ข วิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำ	136
ประวัติผู้เขียน	144

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	หลักการทำงานของพืชน้ำในการบำบัดน้ำเสีย	21
2	แผนการทดลองศึกษาการเลี้ยงพืชน้ำร่วมกับปลาทองในระบบปิด	30
3	ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัส (%) ของสาหร่ายข้าวเหนียว สาหร่ายพุงชะโด และสาหร่ายหางกระรอกในน้ำจากการเลี้ยงปลาทอง	65
4	ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย (%) ของสาหร่ายหางกระรอก และสาหร่ายพุงชะโด	66
5	ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดสารอาหาร (%) ของสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่นต่าง ๆ	68
6	ค่าเฉลี่ยอัตราการดูดซับธาตุอาหารของสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่นต่าง ๆ	69

สารบัญตารางภาคผนวก

ตารางภาคผนวกที่		หน้า
1	ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (มก./ล.) ที่ตรวจวัดได้ในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองด้วยพืชน้ำ 3 ชนิดที่ความหนาแน่น 2.5 ก./ล. ในช่วงระยะเวลา 5 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3)	87
2	ปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจน (มก./ล.) ที่ตรวจวัดได้ในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองด้วยพืชน้ำ 3 ชนิดที่ความหนาแน่น 2.5 ก./ล.ในช่วงระยะเวลา 5 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3)	88
3	ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน (มก./ล.) ที่ตรวจวัดได้ในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองด้วยพืชน้ำ 3 ชนิดที่ความหนาแน่น 2.5 ก./ล.ในช่วงระยะเวลา 5 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3)	89
4	ปริมาณออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส (มก./ล.) ที่ตรวจวัดได้ในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองด้วยพืชน้ำ 3 ชนิดที่ความหนาแน่น 2.5 ก./ล.ในช่วงระยะเวลา 5 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3)	90
5	ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (%) ที่ตรวจวัดได้ในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองด้วยพืชน้ำ 3 ชนิดที่ความหนาแน่น 2.5 ก./ล.ในช่วงระยะเวลา 5 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3)	91
6	ประสิทธิภาพการบำบัดไนไตรท์-ไนโตรเจน (%) ที่ตรวจวัดได้ในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองด้วยพืชน้ำ 3 ชนิดที่ความหนาแน่น 2.5 ก./ล. ในช่วงระยะเวลา 5 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3)	91
7	ประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรท-ไนโตรเจน (%) ที่ตรวจวัดได้ในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองด้วยพืชน้ำ 3 ชนิดที่ความหนาแน่น 2.5 ก./ล. ในช่วงระยะเวลา 5 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3)	92
8	ประสิทธิภาพการบำบัดออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส (%) ที่ตรวจวัดได้ในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองด้วยพืชน้ำ 3 ชนิดที่ความหนาแน่น 2.5 ก./ล. ในช่วงระยะเวลา 5 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3)	92

สารบัญตารางภาคผนวก (ต่อ)

ตารางภาคผนวกที่ **หน้า**

9 ปริมาณการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (มก./ก.น้ำหนักสด/วัน) ที่ตรวจวัดได้ในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองด้วยพืชน้ำ 3 ชนิดที่ความหนาแน่น 2.5 ก./ล. ในช่วงระยะเวลา 5 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3) 93

10 ปริมาณการดูดซับไนไตรท์-ไนโตรเจน (มก./ก.น้ำหนักสด/วัน) ที่ตรวจวัดได้ในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองด้วยพืชน้ำ 3 ชนิดที่ความหนาแน่น 2.5 ก./ล. ในช่วงระยะเวลา 5 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3) 93

11 ปริมาณการดูดซับไนเตรท-ไนโตรเจน (มก./ก.น้ำหนักสด/วัน) ที่ตรวจวัดได้ในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองด้วยพืชน้ำ 3 ชนิดที่ความหนาแน่น 2.5 ก./ล. ในช่วงระยะเวลา 5 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3) 94

12 ปริมาณการดูดซับออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส (มก./ก.น้ำหนักสด/วัน) ที่ตรวจวัดได้ในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองด้วยพืชน้ำ 3 ชนิดที่ความหนาแน่น 2.5 ก./ล. ในช่วงระยะเวลา 5 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3) 94

13 ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (มก./ล.) ที่ตรวจวัดได้ในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองด้วยสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 0, 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล.ในช่วงระยะเวลา 5 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3) 95

14 ปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจน (มก./ล.) ที่ตรวจวัดได้ในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองด้วยสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 0, 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. ในช่วงระยะเวลา 5 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3) 96

15 ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน (มก./ล.) ที่ตรวจวัดได้ในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองด้วยสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 0, 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. ในช่วงระยะเวลา 5 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3) 97

16 ปริมาณออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส (มก./ล.) ที่ตรวจวัดได้ในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองด้วยสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 0, 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. ในช่วงระยะเวลา 5 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3) 98

สารบัญตารางภาคผนวก (ต่อ)

ตารางภาคผนวกที่ **หน้า**

17 ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (%) โดยสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. ในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองในช่วงระยะเวลา 5 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3) 99

18 ประสิทธิภาพการบำบัดไนไตรท์-ไนโตรเจน (%)โดยสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. ในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองในช่วงระยะเวลา 5 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3) 99

19 ประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรท-ไนโตรเจน (%)โดยสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. ในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองในช่วงระยะเวลา 5 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3) 100

20 ประสิทธิภาพการบำบัดออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส (%)โดยสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. ในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองในช่วงระยะเวลา 5 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3) 100

21 ปริมาณการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (มก./ก.น้ำหนักสด/วัน) โดยสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. ในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองในช่วงระยะเวลา 5 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3) 101

22 ปริมาณการดูดซับไนไตรท์-ไนโตรเจน (มก./ก.น้ำหนักสด/วัน) โดยสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. ในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองในช่วงระยะเวลา 5 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3) 101

23 ปริมาณการดูดซับไนเตรท-ไนโตรเจน (มก./ก.น้ำหนักสด/วัน) โดยสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. ในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองในช่วงระยะเวลา 5 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3) 102

24 ปริมาณการดูดซับออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส (มก./ก.น้ำหนักสด/วัน) โดยสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. ในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองในช่วงระยะเวลา 5 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3) 102

สารบัญตารางภาคผนวก (ต่อ)

ตารางภาคผนวกที่ **หน้า**

25 อุณหภูมิน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองที่ความหนาแน่น 0.5, 1.0 และ 1.5 ตัว/น้ำ 3 ล. ร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 0, 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. ในช่วงระยะเวลา 55 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3) 103

26 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองที่ความหนาแน่น 0.5, 1.0 และ 1.5 ตัว/น้ำ 3 ล. ร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 0, 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. ในช่วงระยะเวลา 55 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3) 105

27 ความเป็นด่างในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองที่ความหนาแน่น 0.5, 1.0 และ 1.5 ตัว/น้ำ 3 ล. ร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 0, 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. ในช่วงระยะเวลา 55 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3) 107

28 ปริมาณแอมโมเนียในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองที่ความหนาแน่น 0.5, 1.0 และ 1.5 ตัว/น้ำ 3 ล. ร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 0, 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. ในช่วงระยะเวลา 55 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3) 109

29 ปริมาณไนไตรท์ในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองที่ความหนาแน่น 0.5, 1.0 และ 1.5 ตัว/น้ำ 3 ล. ร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 0, 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. ในช่วงระยะเวลา 55 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3) 111

30 ปริมาณไนเตรทในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองที่ความหนาแน่น 0.5, 1.0 และ 1.5 ตัว/น้ำ 3 ล. ร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 0, 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. ในช่วงระยะเวลา 55 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3) 113

31 ปริมาณออร์โธฟอสเฟตในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองที่ความหนาแน่น 0.5, 1.0 และ 1.5 ตัว/น้ำ 3 ล. ร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น0, 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. ในช่วงระยะเวลา 55 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3) 115

32 ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองที่ความหนาแน่น 0.5, 1.0 และ 1.5 ตัว/น้ำ 3 ล. ร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. ในช่วงระยะเวลา 55 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3) 117

33 ประสิทธิภาพการบำบัดไนไตรท์-ไนโตรเจน ในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองที่ความหนาแน่น 0.5, 1.0 และ 1.5 ตัว/น้ำ 3 ล. ร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. ในช่วงระยะเวลา 55 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3) 119

สารบัญตารางภาคผนวก (ต่อ)

ตารางภาคผนวกที่ **หน้า**

34 ประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรท-ไนโตรเจน ในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองที่ความหนาแน่น 0.5, 1.0 และ 1.5 ตัว/น้ำ 3 ล. ร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. ในช่วงระยะเวลา 55 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3) 121

35 ประสิทธิภาพการบำบัดออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส ในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองที่ความหนาแน่น 0.5, 1.0 และ 1.5 ตัว/น้ำ 3 ล. ร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. ในช่วงระยะเวลา 55 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3) 123

36 อัตราการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองที่ความหนาแน่น 0.5, 1.0 และ 1.5 ตัว/น้ำ 3 ล. ร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. ในช่วงระยะเวลา 55 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3) 125

37 อัตราการดูดซับไนไตรท์-ไนโตรเจน ในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองที่ความหนาแน่น 0.5, 1.0 และ 1.5 ตัว/น้ำ 3 ล. ร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. ในช่วงระยะเวลา 55 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3) 127

38 อัตราการดูดซับไนเตรท-ไนโตรเจน ในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองที่ความหนาแน่น 0.5, 1.0 และ 1.5 ตัว/น้ำ 3 ล. ร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. ในช่วงระยะเวลา 55 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3) 129

39 อัตราการดูดซับออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส ในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองที่ความหนาแน่น 0.5, 1.0 และ 1.5 ตัว/น้ำ 3 ล. ร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. ในช่วงระยะเวลา 55 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3) 131

40 อัตราการเจริญเติบโตของปลาทองที่ระดับความหนาแน่น 0.5, 1.0 และ 1.5 ตัว/น้ำ 3 ล. ซึ่งเลี้ยงร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 0, 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. ในช่วงระยะเวลา 56 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3) 133

41 อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายข้าวเหนียวที่ระดับความหนาแน่น 0, 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. ซึ่งเลี้ยงร่วมกับปลาทองที่ความหนาแน่น 0.5, 1.0 และ 1.5 ตัว/น้ำ 3 ล. ในช่วงระยะเวลา 56 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n = 3) 134

42 อัตราการตายสะสมของปลาทองที่ระดับความหนาแน่น 0.5, 1.0 และ 1.5 ตัว/น้ำ 3 ล. ซึ่งเลี้ยงร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 0, 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. ในช่วงระยะเวลา 56 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n = 3) 135

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

1	ลักษณะทั่วไปของปลาทองพันธุ์ออแรนดา (*Carassius auratus*)	22
2	ลักษณะตู้ทดลอง (ก) เครื่องกรองน้ำแบบติดข้างตู้ (ข) และภาพจำลองระบบการทดลองที่ 3	25
3	การเปลี่ยนแปลงของปริมาณแอมโมเนียรวมเฉลี่ยในน้ำจากการเลี้ยงปลาทองที่ใส่สาหร่ายหางกระรอก สาหร่ายพุงชะโด และสาหร่ายข้าวเหนียว ความหนาแน่น 2.5 ก./ล. ระยะเวลา 5 วัน	32
4	การเปลี่ยนแปลงของปริมาณไนไตรท์เฉลี่ยในน้ำจากการเลี้ยงปลาทองที่ใส่สาหร่ายหางกระรอก สาหร่ายพุงชะโด และสาหร่ายข้าวเหนียว ความหนาแน่น 2.5 ก./ล. ระยะเวลา 5 วัน	33
5	การเปลี่ยนแปลงของปริมาณไนเตรทเฉลี่ยในน้ำจากการเลี้ยงปลาทองที่ใส่สาหร่ายหางกระรอก สาหร่ายพุงชะโด และสาหร่ายข้าวเหนียว ความหนาแน่น 2.5 ก./ล. ระยะเวลา 5 วัน	34
6	การเปลี่ยนแปลงของปริมาณออร์โธฟอสเฟตเฉลี่ยในน้ำจากการเลี้ยงปลาทองที่ใส่สาหร่ายหางกระรอก สาหร่ายพุงชะโด และสาหร่ายข้าวเหนียว ความหนาแน่น 2.5 ก./ล. ระยะเวลา 5 วัน	35
7	ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียรวมโดยสาหร่ายหางกระรอก สาหร่ายพุงชะโด และสาหร่ายข้าวเหนียวที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่น 2.5 ก./ล. เป็นระยะเวลา 5 วัน ในน้ำจากการเลี้ยงปลาทอง	36
8	ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดไนไตรท์โดยสาหร่ายหางกระรอก สาหร่ายพุงชะโด และสาหร่ายข้าวเหนียวที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่น 2.5 ก./ล. เป็นระยะเวลา 5 วัน ในน้ำจากการเลี้ยงปลาทอง	37
9	ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรทโดยสาหร่ายหางกระรอก สาหร่ายพุงชะโด และสาหร่ายข้าวเหนียวที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่น 2.5 ก./ล. เป็นระยะเวลา 5 วัน ในน้ำจากการเลี้ยงปลาทอง	38

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

10	ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดออร์โธฟอสเฟตโดยสาหร่ายหางกระรอก สาหร่ายพุงชะโดและสาหร่ายข้าวเหนียวที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่น 2.5 ก./ล. เป็นระยะเวลา 5 วัน ในน้ำจากการเลี้ยงปลาทอง	39
11	ค่าเฉลี่ยอัตราการดูดซับแอมโมเนียรวมโดยสาหร่ายหางกระรอก สาหร่ายพุงชะโดและสาหร่ายข้าวเหนียวที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่น 2.5 ก./ล. เป็นระยะเวลา 5 วัน ในน้ำจากการเลี้ยงปลาทอง	40
12	ค่าเฉลี่ยอัตราการดูดซับไนไตรท์โดยสาหร่ายหางกระรอก สาหร่ายพุงชะโด และสาหร่ายข้าวเหนียวที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่น 2.5 ก./ล. เป็นระยะเวลา 5 วัน ในน้ำจากการเลี้ยงปลาทอง	41
13	ค่าเฉลี่ยอัตราการดูดซับไนเตรทโดยสาหร่ายหางกระรอก สาหร่ายพุงชะโด และสาหร่ายข้าวเหนียวที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่น 2.5 ก./ล. เป็นระยะเวลา 5 วัน ในน้ำจากการเลี้ยงปลาทอง	42
14	ค่าเฉลี่ยอัตราการดูดซับออร์โธฟอสเฟตโดยสาหร่ายหางกระรอก สาหร่ายพุงชะโด และสาหร่ายข้าวเหนียวที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่น 2.5 ก./ล. เป็นระยะเวลา 5 วัน ในน้ำจากการเลี้ยงปลาทอง	43
15	การเปลี่ยนแปลงของปริมาณแอมโมเนียรวมเฉลี่ยในน้ำจากการเลี้ยงปลาทองที่ใส่สาหร่ายข้าวเหนียวด้วยความหนาแน่น 0, 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. เป็นระยะเวลา 5 วัน	44
16	การเปลี่ยนแปลงของปริมาณไนไตรท์เฉลี่ยในน้ำจากการเลี้ยงปลาทองที่ใส่สาหร่ายข้าวเหนียวด้วยความหนาแน่น 0, 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. เป็นระยะเวลา 5 วัน	45
17	การเปลี่ยนแปลงของปริมาณไนเตรทเฉลี่ยในน้ำจากการเลี้ยงปลาทองที่ใส่สาหร่ายข้าวเหนียวด้วยความหนาแน่น 0, 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. เป็นระยะเวลา 5 วัน	46
18	การเปลี่ยนแปลงของปริมาณออร์โธฟอสเฟตเฉลี่ยในน้ำจากการเลี้ยงปลาทองที่ใส่สาหร่ายข้าวเหนียวด้วยความหนาแน่น 0, 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. เป็นระยะ 5 วัน	47

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

19 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียรวมโดยสาหร่ายข้าวเหนียวที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่น 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. เป็นระยะเวลา 5 วัน ในน้ำจากการเลี้ยงปลาทอง 48

20 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดไนไตรท์โดยสาหร่ายข้าวเหนียวที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่น 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. เป็นระยะเวลา 5 วัน ในน้ำจากการเลี้ยงปลาทอง 49

21 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรทโดยสาหร่ายข้าวเหนียวที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่น 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. เป็นระยะเวลา 5 วัน ในน้ำจากการเลี้ยงปลาทอง 50

22 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดออร์โธฟอสเฟตโดยสาหร่ายข้าวเหนียวที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่น 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. เป็นระยะเวลา 5 วัน ในน้ำจากการเลี้ยงปลาทอง 51

23 ค่าเฉลี่ยอัตราการดูดซับแอมโมเนียรวมโดยสาหร่ายข้าวเหนียวที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่น 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. เป็นระยะเวลา 5 วัน ในน้ำจากการเลี้ยงปลาทอง 52

24 ค่าเฉลี่ยอัตราการดูดซับไนไตรท์โดยสาหร่ายข้าวเหนียวที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่น 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. เป็นระยะเวลา 5 วัน ในน้ำจากการเลี้ยงปลาทอง 53

25 ค่าเฉลี่ยอัตราการดูดซับไนเตรทโดยสาหร่ายข้าวเหนียวที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่น 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. เป็นระยะเวลา 5 วัน ในน้ำจากการเลี้ยงปลาทอง 54

26 ค่าเฉลี่ยอัตราการดูดซับออร์โธฟอสเฟตโดยสาหร่ายข้าวเหนียวที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่น 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. เป็นระยะเวลา 5 วัน ในน้ำจากการเลี้ยงปลาทอง 55

27 อัตราการเจริญเติบโตของปลาทองที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่น 0.5, 1.0 และ 1.5 ตัว/น้ำ 3 ล. เลี้ยงร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 0, 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. เมื่อสิ้นสุดระยะเวลา 56 วัน (ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD, n = 3) 61

28 อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายข้าวเหนียวที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่น 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. ร่วมกับปลาทองที่ความหนาแน่น 0.5, 1.0 และ 1.5 ตัว/น้ำ 3 ล. ระยะเวลา 56 วัน (ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD, n = 3) 62

29 อัตราการตายสะสมของปลาทองที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่น 0.5, 1.0 และ 1.5 ตัว/น้ำ 3 ล. ร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 0, 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. เมื่อสิ้นสุดระยะเวลา 56 วัน (ค่าเฉลี่ย$\pm$ SD, n = 3) 63

สัญลักษณ์ และคำย่อ

%	เปอร์เซ็นต์
°ซ.	องศาเซลเซียส
ก.	กรัม
ชม.	ชั่วโมง
ซม.	เซนติเมตร
มก.	มิลลิกรัม
มม.	มิลลิเมตร
มล.	มิลลิลิตร
ล.	ลิตร
ppm	ส่วนในล้านส่วน
ppt	ส่วนในพันส่วน

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำต้นเรื่อง

ปัจจุบันธุรกิจการเพาะเลี้ยงปลาสวยงามหรือปลาตู้มีแนวโน้มขยายตัวมากขึ้น และได้รับความนิยมแพร่ขยายไปทั่วโลกเนื่องจากปลาสวยงามมีราคาสูง เมื่อเทียบกับปลาที่ใช้เป็นอาหารในขนาดเดียวกัน ใช้เวลาในการเพาะเลี้ยงไม่นานก็ขายได้ ใช้เนื้อที่จำกัด สามารถเพาะพันธุ์ได้ในภาชนะเล็ก ๆ เช่น ตู้กระจก อ่างดิน บ่อซีเมนต์ ซึ่งผู้สนใจสามารถทำเป็นอาชีพเสริมเพื่อเพิ่มรายได้ของครอบครัวได้ (สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร, 2541; นันทิมา, 2546) ปลาทองเป็นปลาสวยงามเศรษฐกิจชนิดหนึ่งที่เป็นที่รู้จักกันดี ความนิยมในตลาดยังคงมีสม่ำเสมอ ปลาทองนับว่าเป็นปลาที่มีความสวยงาม อ่อนช้อย น่ารัก มีเสน่ห์ชวนหลงใหล อีกทั้งยังเป็นปลาที่เลี้ยงง่าย โตเร็ว เพราะเป็นปลาที่มีความอดทน อยู่ง่าย และกินง่าย สามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมได้เป็นอย่างดี มีสีสันสวยงาม ได้รับความนิยมสูงมากและมีราคาดี แต่ขับถ่ายของเสียซึ่งเป็นแหล่งของแอมโมเนียได้ในปริมาณมาก (ชาติ, 2534; สุรศักดิ์, 2542; ศิริวัฒน์, 2544) ซึ่งการเลี้ยงปลาทองในตู้ปลานั้นเป็นการเลี้ยงปลาระบบปิดจึงมีการสะสมของเสียที่ปลาขับถ่ายออกมาและเศษอาหารเหลือที่คั่งค้างอยู่ในตู้เกิดการหมักหมม โดยจะอยู่ในรูปแอมโมเนีย จากกระบวนการ mineralization และจะเปลี่ยนรูปเป็นไนไตรท์ และไนเตรทโดยแบคทีเรียในกระบวนการ nitrification ซึ่งแอมโมเนียและไนไตรท์เป็นพิษต่อสัตว์น้ำทำให้สภาพของน้ำไม่เหมาะสมในการเลี้ยงปลาอาจทำให้สัตว์น้ำตายเฉียบพลันหรืออาจทำให้สัตว์น้ำเครียดและอ่อนแอส่งผลให้สัตว์น้ำเกิดโรคได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้แอมโมเนียเป็นสารอาหารที่พืชน้ำสามารถใช้เพื่อการเจริญเติบโต ดังนั้นปริมาณแอมโมเนียสูงเกินไปจะเกิดปัญหาคือตะไคร่น้ำ หรือสาหร่ายเกาะบริเวณกระจกของตู้เลี้ยงทำให้ตู้เลี้ยงสกปรกไม่สวยงามต้องเปลี่ยนถ่ายน้ำอยู่เป็นประจำ การเลี้ยงปลาโดยที่ไม่มีการกำจัดของเสียในตู้ปลาจะต้องทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำทุก 7-10 วัน (Penzes, 1986) ถ้าทำการเลี้ยงปลาจำนวนมากจะต้องเปลี่ยนถ่ายน้ำเร็วขึ้นซึ่งเป็นสิ่งที่น่าเบื่อ ยุ่งยากและสิ้นเปลืองเวลา ซึ่งของเสียส่วนใหญ่ที่พบในตู้เลี้ยงปลามาจากเศษอาหารที่ปลากินไม่หมดและสิ่งขับถ่ายของปลา ของเสียส่วนที่ยังไม่ละลายน้ำสามารถกำจัดออกได้โดยใช้วิธีการทางกายภาพ ปัจจุบันได้มีการนำระบบกรองน้ำเข้ามาแก้ไขปัญหาดังกล่าวเพื่อลดความถี่ในการเปลี่ยนถ่ายน้ำแต่ข้อจำกัดของการใช้ระบบกรองน้ำคือ ถ้าของเสียมากเกินไป

ประสิทธิภาพในการกำจัดของเสียในระบบกรองน้ำจะต่ำลง ถ้าใช้ชุดกรองน้ำหลายชุดก็จะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย ระบบกรองน้ำจะสามารถเปลี่ยนรูปแบบสารประกอบไนโตรเจนที่เป็นพิษให้กลายเป็นสารประกอบมีพิษน้อยลงแต่ไม่สามารถกำจัดสารประกอบไนโตรเจนออกหมดได้ การเลี้ยงปลามีการให้อาหารทุกวันจึงมีของเสียที่เป็นสารประกอบไนโตรเจนสะสมอยู่ทุกวัน ดังนั้นถ้าต้องการให้น้ำที่ใช้เลี้ยงปลามีคุณภาพดีเหมาะกับการเจริญของปลาตู้ต้องมีระบบการกำจัดของเสียที่มีประสิทธิภาพ กำจัดของเสียได้ทันเวลา (ศิริวัฒน์, 2544) จึงต้องมีแนวทางที่เหมาะสมในการจัดการคุณภาพน้ำเพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้นจากการให้อาหารและสิ่งขับถ่ายของปลาที่ออกมาระหว่างการเลี้ยง

เนื่องจากน้ำเลี้ยงปลาดังกล่าวประกอบด้วยสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในปริมาณที่สูงของเสียส่วนที่ยังไม่ละลายน้ำสามารถกำจัดออกได้โดยใช้วิธีการกรองทางกายภาพ แต่ส่วนที่เหลือจากการกรองและละลายอยู่ในน้ำอาจนำมาใช้เป็นธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของพืชน้ำ หากนำพืชน้ำที่เหมาะสมดูดซับธาตุอาหาร ทำให้สารอาหารเหล่านี้มีปริมาณลดลง และนอกจากนี้พืชน้ำยังเป็นที่เกาะของแบคทีเรียที่ย่อยสลายสารประกอบไนโตรเจนที่เป็นพิษกับปลาอีกด้วย (สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร, 2541; นันทิมา, 2546) จากการศึกษาพบว่ามีพืชน้ำหลายชนิดที่สามารถบำบัดน้ำเสียได้ เช่น ผักตบชวา (*Eichhornia crassipes*) (กิตติ และสำอาง, 2530; เพลินจิต และคณะ, 2530; เรียม, 2530; ข้าวทิพย์ และพิมล, 2533; อภิชัย, 2533; ณัฏฐา และคณะ, 2536; ขนิษฐา และคณะ, 2549; De Busk and Reddy, 1987; Hasan *et al*., 2007) ธูปฤาษี (*Typha latifolia*) (Netter, 1992) ผักเป็ดน้ำ (*Alternanthera philoxeroides*) อ้อ (*Phragmites communis*) (Wolverton *et al*., 1983) แหน (*Lemna* spp.) ดีปลีน้ำ (*Potamogeton crispus*) กก (*Scirpus lacustris*) และแว่นแก้ว (*Hydrocotyle umbellate* Linn.) (เพลินจิต และคณะ, 2530; เรียม, 2530; อภิชัย, 2533; ณัฏฐา และคณะ, 2536; เพ็ญชุดา, 2546; ขนิษฐา และคณะ, 2549; Wolverton and McDonald, 1979; US EPA, 1988)

เนื่องจากปัจจุบันได้มีการนำพืชน้ำเหล่านี้ไปใช้ประโยชน์ในการบำบัดน้ำเสียจากชุมชน และน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้ง (ชัชชาย, 2538; ธัญลักษณ์, 2539; ชีวิน และคณะ, 2545; ธงชัย และอุดมผล, 2547) จึงคิดว่าหากนำพืชน้ำมาเลี้ยงร่วมกับปลาทองอาจสามารถช่วยในการบำบัดน้ำเสียจากการเพาะเลี้ยง ช่วยลดปริมาณการเปลี่ยนถ่ายน้ำ ค่าใช้จ่ายในการรักษาคุณภาพน้ำ และอาจช่วยให้ปลาทองเจริญเติบโตดี ในการศึกษาครั้งนี้ได้นำสาหร่ายหางกระรอก สาหร่ายพุงชะโด และสาหร่ายข้าวเหนียวซึ่งเป็นพืชน้ำที่พบได้ทั่วไปในแหล่งน้ำธรรมชาติ มาศึกษาความเหมาะสมในเชิงประสิทธิภาพในการดูดซับไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำจากการเลี้ยงปลาทอง และเลือกชนิดที่มี

ประสิทธิภาพมากที่สุดในความหนาแน่นต่าง ๆ เพื่อใช้กำจัดสารประกอบดังกล่าวร่วมกับการเลี้ยงปลาทอง

1.2 การตรวจเอกสาร

1.2.1 การเลี้ยงปลาในระบบปิด

การเลี้ยงปลาสวยงามในตู้ปลาจัดเป็นการเลี้ยงระบบปิด Landau (1992) ให้ความหมายของระบบปิดว่าเป็นระบบที่ไม่มีการเติมน้ำใหม่เข้าในระบบ โดย 95-100 % ของน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาจะถูกหมุนเวียนนำกลับมาใช้ใหม่ น้ำส่วนที่หายไปเกิดจากการระเหยและการหมุนเวียนซึ่งอาจมีการเติมน้ำเข้ามาทดแทนในส่วนนี้ได้โดยการหมุนเวียนน้ำ น้ำที่ใช้ในการเลี้ยงปลาจะถูกกรองเอาเศษอาหารที่เหลือจากการกินของปลา สิ่งขับถ่ายของปลา และของเสียอื่น ๆ ออกจากน้ำ แล้วจึงนำกลับมาใช้ใหม่

การเลี้ยงปลาในระบบปิดเป็นระบบที่สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง และออกซิเจนละลายน้ำให้มีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลาได้ เมื่อนำเอาการเลี้ยงปลาในระบบปิดมาใช้ในการเลี้ยงปลาตู้เพื่อความสวยงามจึงทำให้การเลี้ยงประสบความสำเร็จ ปลาที่เลี้ยงจะมีลักษณะรูปร่างและสีสันที่สวยงาม นอกจากนี้ยังใช้พื้นที่ในการเลี้ยงน้อยและใช้น้ำปริมาณไม่มาก ทำให้สามารถเลี้ยงได้ในบ้านเรือนทั่วไปและเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลาย แต่การเลี้ยงในระบบปิดจะมีเศษอาหารที่ปลากินไม่หมดและของเสียที่เกิดจากกระบวนการเมตาบอลิซึมของปลาสะสมรวมทั้งยาและสารเคมีในปริมาณที่สูง (Ackefors and Enell, 1990; Beveridge *et al*., 1991; Braaten, 1992) ทำให้น้ำที่ใช้เลี้ยงเกิดการเน่าเสียอย่างรวดเร็วโดยแอมโมเนีย และไนไตรท์ มีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ แต่ ไนเตรทมีความเป็นพิษต่ำและยังเป็นแหล่งไนโตรเจนสำหรับพืชชั้นสูงได้อีกด้วย ซึ่งการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำจากการเลี้ยงปลาทองในระบบปิดส่งผลกระทบต่อปลาทองในด้านสรีระวิทยา (Yoshitomi *et al*., 2002) และระบบสืบพันธุ์ (Nagano *et al*., 2003) ในกรณีที่เลี้ยงปลาในตู้โดยไม่มีการบำบัดน้ำจะต้องทำการเปลี่ยนน้ำทุก 7-10 วัน (Penzes, 1986) ซึ่งจะขึ้นอยู่กับชนิดของปลา ขนาดของปลา ลักษณะของการเลี้ยง เป็นต้น การที่จะต้องเปลี่ยนถ่ายน้ำบ่อยๆ เป็นความยุ่งยากและสิ้นเปลืองเวลาทำให้ผู้เลี้ยงปลาเกิดความเบื่อหน่ายในการเลี้ยงได้

1.2.2 สาเหตุหลักที่ทำให้คุณภาพน้ำในตู้ปลาเปลี่ยนแปลงไป

1) อาหารที่ปลากินไม่หมด

เมื่อมีเศษอาหารเหลือเชื้อจุลินทรีย์ที่อยู่ในน้ำจะใช้เศษอาหารที่เหลืออยู่นั้นเป็นอาหารแล้วเพิ่มจำนวนขึ้น ซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้น้ำขุ่น เน่าเสีย และทำให้เกิดสารที่เป็นพิษต่อปลาได้ นอกจากนั้นยังเป็นแหล่งสะสมของเชื้อโรค ทำให้ปลาอ่อนแอ เชื่องช้า และตายง่าย ดังนั้นอาหารที่ให้ปลาจึงควรมีความเหมาะสมกับชนิดและขนาดของปลา อีกทั้งปริมาณอาหารที่ให้ไม่ควรมากเกินไปคือไม่ควรให้อาหารแก่ปลามากเกินกว่าที่ปลาจะกินได้หมดภายในเวลา 2-3 นาที หรือมากที่สุดไม่เกิน 30 นาที (Penzes, 1986)

2) การขับถ่ายของเสียของปลา

ปลาจะมีการขับถ่ายของเสียได้ทั้งทางเหงือก ไต และทางผิวหนัง ของเสียที่ปลาขับถ่ายออกมาส่วนใหญ่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ (Nitrogenous waste) โดยสารประกอบไนโตรเจนที่ปลาขับออกมา 80 % จะอยู่ในรูปของแอมโมเนียซึ่งจะถูกขับออกมาทางเหงือกมากกว่า 90 % (วีรพงศ์, 2536)

1.2.3 การกำจัดของเสียในตู้เลี้ยงปลาระบบปิด

ในตู้เลี้ยงปลาระบบปิดมีการกำจัดของเสียโดยใช้วิธีการขั้นพื้นฐาน 3 วิธี ได้แก่ วิธีการทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ ซึ่งระบบปิดนี้อาจใช้วิธีเดียวหรือใช้ร่วมกันหลายวิธีก็ได้ (ชาติ, 2534; สุรศักดิ์, 2542; Alderton, 1983; Scott, 1996) โดยวิธีที่ได้รับความนิยมคือการกรองชีวภาพ (biofiltration) โดย Losordo และคณะ (1999) ได้ให้ความหมายของระบบกรองชีวภาพว่าเป็นระบบที่ต้องมีวัสดุยึดเกาะที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสจำเพาะต่อหน่วยพื้นที่ที่ค่อนข้างมากเพื่อเอื้อต่อการเกาะติดของแบคทีเรียโดยมีผลลดค่าบีโอดีและแร่ธาตุอาหารในน้ำ นอกจากนี้ไนตริไฟอิงแบคทีเรียสามารถเปลี่ยนแอมโมเนียซึ่งเป็นพิษต่อสัตว์น้ำให้อยู่ในรูปไนเตรท ข้อจำกัดของระบบกรองที่ใช้แบคทีเรียบำบัดน้ำเสียจากบ่อปลามักเกิดปัญหาสารอินทรีย์ที่สลายตัวรวมเป็นเมือกอุดตันขวางการไหลของน้ำเสียหรือบริเวณวัสดุที่แบคทีเรียยึดเกาะ (Paller and Levis, 1982) และระบบกรองแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพบำบัดน้ำเสียต้องออกแบบให้ออกซิเจนจากอากาศแพร่เข้าแทรกในช่องว่างระหว่างวัสดุที่แบคทีเรียยึดเกาะ และสามารถระบายน้ำทั้งหมด ซึ่งไม่สามารถทำได้กับการบำบัดน้ำเสียจากบ่อปลา

ที่มีปริมาณน้ำมากแต่ระดับความเน่าเสียน้อยกว่าน้ำเสียจากชุมชนหรือโรงงานอุตสาหกรรม นอกจากนี้ต้นทุนการบำบัดน้ำสูงเกินไปสำหรับการเลี้ยงปลา ดังนั้นระบบที่เหมาะสมกว่าการใช้แบคทีเรียคือระบบกรองที่ใช้พืชน้ำเป็นระบบกรองแบบชีวภาพเนื่องจากค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษาระบบน้อย อีกทั้งสามารถนำพืชน้ำหลังจากบำบัดน้ำเสร็จแล้วไปใช้ประโยชน์ได้อีก ซึ่งระบบกรองชีวภาพแบบการใช้พืชน้ำมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับการกรองชีวภาพที่ใช้แบคทีเรีย แต่พืชที่ปลูกจะเจริญเติบโตได้ดีต้องระบายน้ำเสียเข้าระบบโดยไม่แยกตะกอนซึ่งเป็นแหล่งแร่ธาตุอาหารพืชมากกว่าที่ละลายอยู่ในน้ำ (Paller and Lewis, 1982; Naegal, 1977) พืชน้ำชนิดใต้น้ำทำหน้าที่ดูดซับสารอินทรีย์อนุภาคขนาดเล็ก แร่ธาตุอาหาร และเติมออกซิเจนให้น้ำ การทดลองในครั้งนี้ใช้วิธีการกำจัดของเสีย 2 วิธีการด้วยกันคือ

1) วิธีการทางกายภาพ (Mechanical filtration)

เป็นการกำจัดของเสียขั้นต้นโดยการกรองด้วยเครื่องกรองน้ำเครื่องกรองน้ำที่ใช้มีหลายรูปแบบแต่ละรูปแบบมีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกันแต่จะมีหลักการเดียวกันคือจะดูดน้ำที่มีอนุภาคของเสียจากตู้ปลา และให้น้ำไหลผ่านวัสดุกรองซึ่งจะเป็นตัวดักจับเศษของเสียและตะกอนต่าง ๆ ที่ลอยอยู่ในน้ำทำให้น้ำที่ไหลผ่านวัสดุกรองแล้วเป็นน้ำที่สะอาดขึ้น จากนั้นน้ำจะไหลจากเครื่องกรองกลับเข้าสู่ตู้เลี้ยงปลาตามเดิม วัสดุที่ใช้มีหลายชนิดเช่น กรวด ทราย ใยสังเคราะห์ ยาง และพลาสติก เป็นต้น ปัจจุบันได้มีการพัฒนาเครื่องกรองน้ำให้สามารถกรองน้ำได้รวดเร็วขึ้นและมีการใช้วัสดุกรองที่มีความละเอียดมากขึ้นเช่น ไดอะตอมไมท์ (Diatomite) ทำให้สามารถกรองตะกอนที่มีขนาดเล็กได้ การใช้เครื่องกรองน้ำนอกจากกรองสิ่งสกปรกต่าง ๆ ยังเป็นตัวทำให้เกิดการหมุนเวียนของน้ำ ทำให้น้ำมีอุณหภูมิเท่ากันตลอดทั้งตู้และทำให้น้ำสัมผัสอากาศมากขึ้นด้วย (ศิริวัฒน์, 2544)

2) วิธีการทางชีวภาพ (Biological filtration)

อาศัยจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ โดยจะย่อยสลายของเสียและเปลี่ยนสารประกอบที่เป็นพิษให้ลดความเป็นพิษลง เช่นแอมโมเนียถูก Nitrifying Bacteria ย่อยสลายให้เป็นไนไตรท์และไนเตรทซึ่งเป็นสารประกอบที่มีความเป็นพิษต่อปลาน้อยที่สุด และไนเตรทที่เกิดขึ้นในตู้เลี้ยงปลาจะถูกพืชน้ำใช้ในการเจริญเติบโตในสภาวะที่ขาดออกซิเจน Denitrifying Bacteria สามารถเปลี่ยนไนไตรท์และไนเตรทให้กลายเป็นก๊าซไนโตรเจนออกสู่

บรรยากาศ ปัจจุบันมีการใช้เชื้อจุลินทรีย์เพื่อช่วยในการย่อยสลายของเสียที่เกิดจากการขับถ่ายของปลาและเศษอาหารตกค้าง ช่วยลดแอมโมเนีย ไนไตรท์และไนเตรท รวมทั้งลดความขุ่นของน้ำและกลิ่นคาว (ศิริวัฒน์, 2544)

Wungkobkiat และ คณะ (1997) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบไนโตรเจนภายใต้การบำบัดโดยใช้เครื่องกรองน้ำในตู้เลี้ยงปลาทองระบบปิด โดยเลี้ยงปลา 30 ตัว/ตู้ มีน้ำหนักเฉลี่ยตัวละ 15 ก. ในตู้เลี้ยงปลาขนาด 40×75×40 ลบ.ซม. บรรจุน้ำ 90 ล. และให้อาหารวันละ 5 ก. พบว่าถึงแม้จะมีการใช้เครื่องกรองน้ำและจุลินทรีย์ที่มีอยู่แล้วตามธรรมชาติก็ไม่สามารถกำจัดแอมโมเนีย และไนไตรท์ให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อปลาได้ ซึ่ง Zweig และ คณะ (1999) แนะนำระดับของไนเตรทไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงปลาทั่วไปไว้ว่าต้องมีค่าต่ำกว่า 23 มก./ล. แต่ระดับความเข้มข้นที่ปล่อยสู่แหล่งน้ำธรรมชาติควรมีปริมาณไนเตรทต่ำกว่า 11 มก./ล. ซึ่งการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำหรือในตู้เลี้ยงปลาจะมีการกำจัดไนเตรทโดยการเปลี่ยนถ่ายน้ำใหม่

Ng และ คณะ (1992) ศึกษาคุณภาพของน้ำในฟาร์มปลาทอง (*Carassius auratus*) ระบบการไหลไม่ต่อเนื่องมีการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่และเปลี่ยนถ่ายน้ำ 8 % ทุกวัน ความหนาแน่นของปลาในฟาร์มประมาณ 0.13 กก./ลบ.ม. ซึ่งมีการใช้ระบบบ่อพักน้ำ บ่อใส่พืชน้ำ และระบบกรอง สำหรับบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาพบว่าคุณภาพน้ำที่ได้น่าพอใจมาก โดยแอมโมเนีย-ไนโตรเจนรวมที่หมุนเวียนในน้ำ 0.31 มก./ล. ไนไตรท์-ไนโตรเจน 0.045 มก./ล. ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ 6.15 มก./ล. และระดับของ Coliform ลดลงจาก 11,000 เอ็มพีเอ็น/100 มล. เหลือ 600 เอ็มพีเอ็น/100 มล.

1.2.4 ปลาทอง (*Carassius auratus*)

ปลาทอง หรือบางคนนิยมเรียกว่า ปลาเงินปลาทอง เป็นปลาน้ำจืดในวงศ์ (family) เดียวกับปลาไน คือ Cyprinidae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Carassius auratus* โดย Nelson (1994) ได้จัดลำดับทางอนุกรมวิธานของปลาทองดังนี้

Phylum Chordata

Class Osteichthyes

Order Cypriniformes

Family Cyprinidae

Genus *Carassius*

Species *auratus*

ปลาทองมีถิ่นกำเนิดเดิมอยู่ทางเอเชียตะวันออกตั้งแต่ไซบีเรียถึงจีน ชาวจีนเป็นชนชาติแรกที่นำปลาทองมาเลี้ยงต่อมาจึงได้แพร่กระจายไปในประเทศอื่น ในประเทศจีนเป็นปลาที่มีชื่อเสียงมากๆ และมีการเพาะเลี้ยงกันมาก (Liu *et al*., 2006) ปลาทองเป็นปลาสวยงามที่นิยมเลี้ยงกันทั่วไป เนื่องจากเลี้ยงง่าย โตเร็ว มีสีสันสวยงามหลายสี นอกจากนี้ตลาดซื้อขายปลาทองยังเป็นที่นิยมและมีราคาดีสม่ำเสมอ จึงมีผู้นิยมเลี้ยงไว้ดูเล่น และเพื่อการค้า ปลาทองนอกจากจะนำมาเลี้ยงเพื่อความสวยงามและเพลิดเพลินแล้วยังมีประโยชน์ด้านอื่นด้วย เช่น การทดลองตรวจสอบหาพิษของก๊าซพิษในน้ำ เป็นต้น

ปลาทองเป็นปลาที่สามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดี น้ำที่ใช้เลี้ยงอาจเป็นน้ำฝน น้ำบาดาลหรือน้ำประปาก็ได้ แต่ปลาทองจะไวต่อน้ำที่มีคลอรีนสูง ซึ่งจะทำให้เหงือกปลาอักเสบ การนำน้ำประปามาเลี้ยงจึงควรปล่อยให้คลอรีนสลายตัวหมดก่อนแล้วจึงนำมาใช้เลี้ยงปลาทอง เป็นปลาที่กระตือรือร้นชอบว่ายน้ำอยู่ตลอดเวลา จึงต้องมีพื้นที่เพียงพอสำหรับการว่ายน้ำ และไม่ควรมีหินหรือของประดับต่าง ๆ มาก และยังมีนิสัยชอบขุดทรายตามพื้นตู้ ปลาทองที่เลี้ยงในตู้เลี้ยงปลามีการให้อากาศเมื่อปลามีความยาว 7, 8, 9 และ 10 ซม. ต้องการปริมาตรน้ำเฉลี่ยต่อตัวเท่ากับ 6, 7, 8 และ 12 ล. ตามลำดับ (ศิริวัฒน์, 2544)

Carmignani และ Bennett (1977) รายงานว่ามีการใช้ปลาทองในงานวิจัยเนื่องจากมีความทนทาน สามารถผลิตของเสียได้ปริมาณมากซึ่งเป็นแหล่งของแอมโมเนีย และในญี่ปุ่นมีการทดลองเลี้ยงปลาทองในน้ำที่มีส่วนผสมของน้ำจากท่อระบายเพื่อคิดหาทางนำน้ำเสียนั้นมาใช้ประโยชน์ และใช้ปลาทองในการทดลองตรวจสอบหาพิษของก๊าซพิษในน้ำ

1.2.5 คุณภาพน้ำที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงปลาทอง

คุณภาพน้ำเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญอย่างยิ่งกับการเลี้ยงปลาในตู้ปลาสวยงามเนื่องจากมีผลต่อสุขภาพ การเจริญเติบโต และการขยายพันธุ์ รวมถึงความสวยงามของปลา จึงต้องมีการควบคุมดูแลให้มีความเหมาะสมและอยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อปลา คุณภาพน้ำมี 3 ด้านคือ กายภาพ เคมี และชีวภาพ ทางด้านกายภาพเช่นอุณหภูมิ สี กลิ่น ความขุ่น ด้านเคมีเช่น ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ สารประกอบต่าง ๆ ในน้ำ และทางด้านชีวภาพ เช่น แพลงก์ตอน พืชน้ำ จุลินทรีย์ เป็นต้น (สมหมาย, 2539)

1) อุณหภูมิ

อุณหภูมิของน้ำมีอิทธิพลทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ ปลาสามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิได้ในช่วงจำกัด โดยปรกติอุณหภูมิในตัวปลามีความแตกต่างจากอุณหภูมิของน้ำเพียง 0.5-1 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 28-35 องศาเซลเซียส (ตุลฮาบ, 2549) แต่การเจริญเติบโตของปลาจะต่างกันคือที่อุณหภูมิต่ำจะเจริญช้ากว่าที่อุณหภูมิสูง หากอุณหภูมิน้ำสูงมากไปมีผลให้ปลากินอาหารได้ดีและมีอัตราการเจริญเติบโตสูง อุณหภูมิของน้ำที่ 20-25 องศาเซลเซียส ทำให้ปลามีสีสันสวยงาม ถ้าสูงไปทำให้ปลามีสีสันซีดจาง (สุรศักดิ์, 2542) และการเลี้ยงปลาในที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมาก ๆ จะทำให้ปลาอ่อนแอ เจริญเติบโตช้าและมีความต้านทานโรคลดลง

2) ปริมาณออกซิเจนละลาย

ออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำมีความสำคัญมากเพราะปลาจะต้องใช้ออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำในการหายใจ และกระบวนการต่าง ๆ เพื่อให้เกิดพลังงาน การละลายของออกซิเจนในน้ำจะขึ้นอยู่กับความดันบรรยากาศ อุณหภูมิของอากาศ ความเค็มของน้ำ และความอิ่มตัวของออกซิเจนในน้ำ (สมหมาย, 2539) ปริมาณออกซิเจนละลายที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตและขยายพันธุ์ของปลาคือ 5 มก./ล. หากออกซิเจนละลายเพิ่มขึ้นสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อและอัตราการเจริญเติบโตได้เป็นอย่างดี (Buentello *et al*., 2000) แต่ถ้าหากปลาอยู่ในน้ำที่มีออกซิเจนละลายเกินจุดอิ่มตัว ปลาจะมีโอกาสเป็นโรค gas bubble

disease (มั่นสิน และไพพรรณ, 2539) ระดับออกซิเจนละลายที่เป็นอันตรายต่อปลาทองอยู่ในช่วง 0.1-2.0 มก./ล. หรือต่ำกว่านี้ (สุรศักดิ์, 2542)

3) ความเป็นกรด-ด่าง

ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงปลาทองควรอยู่ในช่วง 7.2-7.5 ถ้าค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ประมาณ 6.6 ปลาก็สามารถอยู่ได้โดยไม่เป็นอันตรายแต่จะมีสีซีดจางลง ค่าความเป็นกรด-ด่างที่สูงหรือต่ำเกินไปจะทำให้ปลาเกิดอาการเครียด และมีผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของปลา (มั่นสิน และไพพรรณ, 2539) นอกจากนี้ระดับของความเป็นกรด-ด่าง ยังมีผลในทางอ้อม เช่นทำให้สารพิษต่าง ๆ มีการแตกตัวเพิ่มขึ้นหรือลดลง และมีผลต่อการแทรกซึมของสารพิษเข้าสู่ร่างกายสัตว์น้ำ (ผกามาศ และคณะ, 2548)

4) ความเป็นด่างรวม

ค่าความเป็นด่างรวมสำหรับเลี้ยงปลาควรมีค่าสูงกว่า 20-40 มก./ล. เพื่อเพิ่มผลผลิตปลาที่เลี้ยง แต่ผลผลิตปลาที่เพิ่มขึ้นไม่ได้เพิ่มขึ้นจากความเป็นด่างรวมที่เพิ่มขึ้น แต่เกิดจากฟอสเฟตและสารอาหารอื่น ๆ ที่เพิ่มขึ้นตามความเป็นด่างรวมที่เพิ่มขึ้น (มั่นสินและไพพรรณ, 2539; สมหมาย, 2539) ความเป็นด่างรวมที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงปลาทองอยู่ในช่วง 150-200 มก./ล. (วันเพ็ญ และคณะ, 2543)

5) ความกระด้างของน้ำ

ปริมาณความกระด้างของน้ำมีผลต่อปริมาณ HCO_3^- และ CO_3^{2-} มีผลต่อระบบบัฟเฟอร์ของน้ำ มีผลต่อปริมาณแร่ธาตุในน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อแพลงก์ตอนพืช รวมไปถึงระบบรักษาสมดุลของแร่ธาตุในร่างกายสัตว์น้ำ จึงมีผลต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ (สมหมาย, 2539) ปริมาณความกระด้างของน้ำที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงปลาทองอยู่ในช่วง 75-100 มก./ล. (วันเพ็ญ และคณะ, 2543)

6) แอมโมเนีย

ถ้าแอมโมเนียในน้ำมีปริมาณสูงเกินไปมีผลให้ความเป็นกรด-ด่างของเลือดสูงขึ้นและเป็นผลเสียต่อปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ และต้องการออกซิเจนเพิ่มขึ้น พร้อมทั้งทำอันตรายต่อเหงือกและลดความสามารถในการขับถ่ายออกซิเจนของเลือดทำให้ปลามีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อเพิ่มขึ้นและอัตราการเจริญเติบโตลดลง (มั่นสิน และไพพรรณ, 2539; Colt and Tchobanoglous, 1978; Hargreaves and Kucuk, 2001; Colt, 2006) โดยปริมาณแอมโมเนียในรูปของ NH_3 ที่ทำให้ปลาน้ำจืดหลายชนิดตายในเวลา 96 ชม. อยู่ที่ 0.2-2 มก./ล. (EIFAC, 1973) และความเป็นกรด-ด่างที่เพิ่มขึ้นมีผลให้แอมโมเนียเปลี่ยนรูปจาก NH_4^+ ไปอยู่ในรูป NH_3 ซึ่งมีพิษสูงขึ้น (Lewbart, 1998) ซึ่งประเทือง (2534) กล่าวว่าแอมโมเนียที่มีปริมาณค่อนข้างสูงเกิดจากการเน่าเสียของเศษอาหารและการขับถ่ายของสัตว์ ปริมาณแอมโมเนียที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงปลาทองคือไม่เกิน 0.02 มก./ล.

7) ไนไตรท์

ไนไตรท์เป็นสารประกอบที่เกิดขึ้นจากการที่แบคทีเรียเปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไนเตรท โดยทั่วไปไนไตรท์ในแหล่งน้ำธรรมชาติจะมีปริมาณน้อยมาก คือเพียง 0.0001 มก./ล. ปริมาณไนไตรท์ที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงปลาทองคือไม่เกิน 0.1 มก./ล. (ไมตรี และ จารุวรรณ, 2528) โดยไนไตรท์จะสามารถแพร่ผ่าน chloride cells บริเวณเหงือกและทำปฏิกิริยากับฮีโมโกลบิน (hemoglobin) ของเม็ดเลือดแดงที่ทำหน้าที่ขนถ่ายออกซิเจนทำให้กลายเป็นเมทธิโมโกลบิน (methemoglobin) ซึ่งเป็นเม็ดเลือดสีน้ำตาลที่ไม่สามารถขนถ่ายออกซิเจนได้จึงเกิดอัตราการตายสูงในปลาที่มีอาการเช่นนี้ (Lewbart, 1998; Grommen *et al*., 2002; Golombieski *et al*., 2003) และความเป็นพิษของไนไตรท์สูงขึ้นเมื่อความเป็นกรด-ด่างลดลง (Colt, 2006)

8) ไนเตรท

ไนเตรทเป็นผลผลิตขั้นสุดท้ายของปฏิกิริยา oxidation เป็นรูปที่ไม่มีพิษต่อสัตว์น้ำโดยตรง แต่ถือว่าเป็นปัจจัยจำกัด (limiting factor) ที่สำคัญที่พืชจะนำไปใช้ในการสร้างโปรตีน โดยในแหล่งน้ำธรรมชาติไม่มีแอมโมเนียพืชน้ำจะใช้ไนเตรท ส่วนน้ำในบ่อเพาะเลี้ยง

สัตว์น้ำมีแอมโมเนียพืชน้ำจะใช้แอมโมเนียและไนเตรทโดยปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณไนเตรทในน้ำ คือการย่อยสลายของจุลินทรีย์จำพวก nitrificant ได้เปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไนไตรท์ และไนเตรท ตามลำดับ ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำไม่ควรมีไนเตรทเกิน 10 มก./ล. (Boyd, 1989) Quilere และคณะ (1995) ทำการทดลองการดูดซับไนเตรทในช่วงเวลาต่าง ๆ ในรอบ 1 วัน พบว่าพืชจะสามารถดูดซับไนเตรทในช่วงกลางวันได้มากกว่ากลางคืนและการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนยังทำให้ปริมาณไนเตรทลดลง (Colt, 2006) ปริมาณไนเตรทที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงปลาทองอยู่ในช่วง 0.01-0.5 มก./ล. (ไมตรี และจารุวรรณ, 2528)

1.2.6 พืชน้ำ (Aquatic plants)

พืชน้ำ ตรงกับภาษาอังกฤษว่า aquatic plants, water plants หรือ hydrophytes หมายถึง พืชที่ขึ้นอยู่ในน้ำ โดยอาจจะเจริญอยู่ใต้ผิวน้ำ ลอยอยู่ที่ผิวน้ำ หรือเจริญอยู่ตามริมชายน้ำ ริมตลิ่ง ริมคลอง นอกจากนี้ยังรวมถึงพืชที่เจริญอยู่ในบริเวณที่น้ำขังแฉะอีกด้วย (ช่อทิพย์, 2531; สุชาดา, 2542) พืชน้ำที่เหมาะสำหรับใช้ร่วมกับระบบการเลี้ยงปลาสวยงามได้แก่ พรรณไม้ใต้น้ำ (Submerged plants) และกลุ่มพรรณไม้โผล่พ้นน้ำ (Emerged plants) (นงนุช, 2544) หน้าที่หลักของพืชน้ำเมื่อเลี้ยงร่วมกับปลาสวยงามคือเพิ่มออกซิเจนให้กับน้ำและกำจัดของเสียในน้ำที่เกิดจากปลาซึ่งอยู่ในรูปของสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัส การใช้พืชน้ำที่มีอยู่แล้วตามธรรมชาติในการบำบัดน้ำเสียนั้นจะเป็นข้อดี เพราะพืชน้ำได้มีการปรับตัวให้เข้ากับสภาพภูมิอากาศ และสภาพดิน ตลอดจนมีแนวโน้มที่จะประสบความสำเร็จในการบำบัดน้ำเสียในพื้นที่ลุ่มชื้นแฉะที่ถูกก่อสร้างดัดแปลง พืชที่นำมาจากแหล่งธรรมชาติอื่นมักจะตาย หรือเติบโตช้า และเป็นปัญหากับลำน้ำตามธรรมชาติเพราะพืชน้ำบางชนิดไม่สามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมใหม่ได้ (Hammer and Bastian, 1989)

พัฒนี (2536) กล่าวถึงการเลือกใช้พืชน้ำและคุณสมบัติของพืชน้ำที่จะนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้

1. สามารถปรับตัวและเจริญเติบโตได้ในท้องถิ่นนั้นๆ และยังสามารถปรับตัวได้ดีในสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงไป

2. มีอัตราการสังเคราะห์แสงสูง และเจริญเติบโตได้ดี

3. มีความสามารถในการส่งผ่านออกซิเจนได้สูง โดยพืชน้ำมีคุณสมบัติในการนำออกซิเจนจากบรรยากาศส่งผ่านมาตามใบ ลำต้น และราก โดยพืชจำพวกธูปฤาษีจะมีชั้นรากหนาประมาณ 30 เซนติเมตร และรากพืชจำพวก กก และแฝกจะหยั่งลึกลงถึง 70 เซนติเมตร

4. สามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นของเสียได้กว้าง

5. มีความสามารถในการดูดซับและสามารถเก็บสะสมสารต่างๆได้ พืชน้ำหลายชนิดสามารถดูดซับเอาปริมาณสารอาหารและแร่ธาตุที่มีอยู่ในน้ำได้ในปริมาณที่มาก เพื่อใช้ในการเจริญเติบโตของพืช ปริมาณสารอาหาร เช่นไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่พืชดูดขึ้นไปใช้มีความสัมพันธ์โดยตรงกับมวลชีวภาพของพืช เช่นพืชที่มีมวลชีวภาพต่อหน่วยมากย่อมมีโอกาสที่จะเก็บสะสมปริมาณสารอาหารไว้ได้มาก สารอาหารที่พืชดูดขึ้นไปใช้และเก็บสะสมนั้นจะอยู่ในเนื้อเยื่อพืชจนกว่าพืชตายลงสารอาหารเหล่านี้ก็จะถูกย่อยสลายกลับลงสู่แหล่งน้ำใหม่

6. มีความทนทานต่อโรคและแมลงต่างๆได้ดี

7. จะต้องง่ายต่อการจัดการ โดยเฉพาะการนำพืชน้ำออกจากระบบ เพื่อไม่ให้พืชน้ำอยู่กันหนาแน่นเกินไป

โดยในการทดลองนี้ได้เลือกพืชน้ำมา 3 ชนิดคือสาหร่ายหางกระรอก สาหร่ายพุงชะโด และสาหร่ายข้าวเหนียว เนื่องจากพืชน้ำทั้ง 3 ชนิดเป็นพืชน้ำที่พบได้ทั่วไปในแหล่งน้ำธรรมชาติทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมได้ดี แข็งแรง ไม่เน่าเปื่อยง่าย แพร่ขยายพันธุ์ได้อย่างรวดเร็ว (สุภาพร, 2540; สุชาดา, 2542)

1) สาหร่ายหางกระรอก (*Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle)

มีการจำแนกตามอนุกรมวิธานดังนี้ (Jacono and Richerson, 2003)

Division Magnoliophyta

Class Liliopsida

Order Hydrocharitales

Family Hydrocharitaceae

Genus *Hydrilla*

Species *verticillata*

สาหร่ายหางกระรอกเป็นพืชใต้น้ำ (submerged aquatic plant) (Bunluesin *et al*., 2007) กำเนิดจากทางใต้ของอินเดีย (Madeira *et al*., 1997) แพร่กระจายทั่วภูมิภาคเอเชียและมีการ

นำไปแพร่กระจายในยุโรป ออสเตรเลีย นิวซีแลนด์ แอฟริกา และอเมริกาเหนือ/ใต้ (Gu, 2006) ปัจจัยที่มีผลต่อการแพร่กระจายของสาหร่ายหางกระรอกในแหล่งน้ำประกอบด้วย ชนิดของตะกอน (Gafny and Gasith, 1999) ระดับความลึกของน้ำ (Wallsten and Forsgren, 1989) ความโปร่งแสง (Canfield *et al*., 1985; Schwarz *et al*., 2002) ความชันของพื้นท้องน้ำ (Duarte and Kalff, 1986) ลักษณะของคลื่น (Hudon *et al*., 2000) และ Benthic Algae (Weisner *et al*., 1997) สาหร่ายหางกระรอกสามารถขึ้นได้ดีในเกือบทุกสภาวะและทุกสภาพของแหล่งน้ำ เช่นน้ำขุ่น น้ำใส แต่ชอบเจริญในน้ำนิ่ง ระดับความลึกที่เหมาะสมไม่เกิน 3 ม. (Langeland, 1996) ลำต้นมีสีเขียวอ่อน เจริญเติบโตได้ดี และรวดเร็ว จนมีความยาวได้ถึง 6 ม. เป็นพืชน้ำที่ทนต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมได้ดี แพร่ขยายพันธุ์ได้รวดเร็ว (มารุต, 2546; พิสมัย และ พันธวัศ, 2550; Wang *et al*., 2007)

ชัชชาย (2538) ศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียขั้นสุดท้ายของวัชพืชน้ำที่จมและลอยเพื่อลดปริมาณไนเตรทและฟอสเฟตในน้ำเสียโรงพยาบาลศรีนครินทร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าสาหร่ายหางกระรอกที่ความหนาแน่น 2.5 ก./ล. สามารถลดปริมาณไนเตรทจาก 28.80 มก./ล. เหลือเพียง 18.94 มก./ล.

ธัญลักษณ์ (2539) ศึกษาประสิทธิภาพของดีปลีน้ำ (*Potamogeton malaianus* Miquel.) และสาหร่ายหางกระรอกในพื้นที่ชุ่มน้ำแบบประดิษฐ์เพื่อบำบัดน้ำเสียจากชุมชน บ้านพักข้าราชการ กรมชลประทาน อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าบ่อที่ปลูกสาหร่ายหางกระรอกมีประสิทธิภาพดีที่สุดโดยสามารถลดค่า BOD (84%), SS (69%), TN (95%) และ PO_4^{3-} (69%)

ธงชัย และอุดมผล (2547) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยใช้ระบบบ่อร่วมกับพืชน้ำระยะเวลากักพักน้ำ 10.5 วัน เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าระบบบ่อบำบัดที่มีสาหร่ายหางกระรอกสามารถลดค่า SS (53-56%), BOD (45-51%), TKN (50-63%) และค่า TP (37-65%)

พิสมัย และพันธวัศ (2550) ศึกษาการกำจัดโครเมียมด้วยพืชน้ำได้แก่ จอกผักแว่น และสาหร่ายหางกระรอก โดยมีความเข้มข้นของโครเมียมที่ใช้คือ 5, 10 และ 15 มก./ล. และชุดควบคุม (ไม่มีการเติมโครเมียม) การสะสมโครเมียมทั้งหมดในพืชน้ำทั้ง 3 ชนิดที่ระยะเวลา 21 วันพบว่า

จอกดีที่สุด รองลงมาคือสาหร่ายหางกระรอก และผักแว่น ตามลำดับ โดยมีปริมาณการสะสมโครเมียมเท่ากับ 5.991, 0.548 และ 1.317 มก./กก. น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

2) สาหร่ายพุงชะโด (*Ceratophyllum demersum* Brenan)

มีการจำแนกตามอนุกรมวิธานดังนี้ (สุชาดา, 2542)

Division Magnoliophyta

Class Magnoliopsida

Order Nymphaeales

Family Ceratophyllaceae

Genus *Ceratophyllum*

Species *demersum*

สาหร่ายพุงชะโดเป็นพืชใต้น้ำที่มีอายุข้ามปี ลำต้นเป็นสายกลมเรียวยาว แตกกิ่งก้านสาขา ใบมีลักษณะเป็นใบเดี่ยวแตกรอบข้อเป็นวง ประมาณ 7-12 ใบต่อข้อ ลักษณะของใบจะแตกเป็นริ้วเล็กปลายแยกเป็นสองแฉก (dichotomous) พบว่าใบที่แตกเป็นริ้วนี้มีตั้งแต่ 1-4 ชั้น ขอบของริ้วใบด้านหนึ่งเรียบด้านหนึ่งหยักเป็นฟันเลื่อยเล็กๆ (serrulate) ไม่มีหูใบ (exstipulate) ดอกลักษณะเป็นดอกเดี่ยวขนาดเล็กเกิดตามซอกใบ ดอกแยกเพศแต่เกิดบนต้นเดียวกัน (monoecious plant) ลักษณะดอกได้สัดส่วนกัน ประกอบด้วย กลีบรวม 8-15 กลีบติดกันที่ฐาน ดอกเพศผู้มีเกสรเพศผู้จำนวน 8-24 อัน ก้านเกสรเพศผู้สั้น อับเรณูแตกตามยาว ดอกเพศเมียมีรังไข่อยู่เหนือส่วนของดอก รังไข่มีเพียง 1 พู ภายในมี 1 ช่อง มีไข่ 1 ใบ ผลลักษณะเป็นผลเดี่ยวชนิดผลแห้งเมื่อแก่ไม่แตกเปลือกแข็ง (achene) ผลมีหนามแหลม 1-3 อัน (ชัชชาย, 2538; สุชาดา, 2542) ชอบขึ้นในแหล่งน้ำนิ่งทั่วไป และสามารถเจริญเติบโตได้ในแหล่งน้ำที่มีระดับธาตุอาหารสูง (Keskinkan *et al*., 2004)

ชีวิน และคณะ (2545) ศึกษาการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวด้วยกระบวนการทางชีวภาพโดยใช้สัตว์และพืชน้ำที่ความเค็ม 0 ppt เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าสาหร่ายพุงชะโดความหนาแน่น 2.5 ก./ล. มีประสิทธิภาพดีที่สุด โดยสามารถลดปริมาณแอมโมเนียได้ 0.04 มก.-ไนโตรเจน/ก./ชม.

3) สาหร่ายข้าวเหนียว (*Utricularia aurea* Lour.)

มีการจำแนกตามอนุกรมวิธานดังนี้ (สุชาดา, 2542)

Division Magnoliophyta

Class Magnoliopsida

Order Scrophulariales

Family Lentibulariaceae

Genus *Utricularia*

Species *aurea*

สาหร่ายข้าวเหนียวเป็นพืชน้ำจืด ชอบขึ้นในที่ตื้นที่มีน้ำนิ่งมีส่วนที่มีหน้าที่คล้ายราก 4-6 เส้น ลำต้นยาว มีลำต้นใต้ดินที่คืบคลานไปและสามารถที่จะงอกกิ่งและแขนงออกมาเป็นต้นใหม่ได้ ใบลดเป็นเส้นสีเขียวลักษณะคล้ายท่อขนาดเล็กเรียงตัวกันเป็นคู่หรือเป็นกระจุก 4 ใบ เป็นพืชที่กินสัตว์เป็นอาหารโดยที่โคนก้านใบจะพองออกมาเป็นถุงเล็ก ๆ มีรูปร่างเป็นรูปไข่หรือค่อนข้างกลมยาว 1-4 มม. กระจายอยู่ทั่วต้นใช้ดักจับสัตว์น้ำขนาดเล็กกินเป็นอาหาร ภายในถุงมีต่อมเล็ก ๆ สร้างน้ำย่อย ใช้ย่อยสัตว์น้ำขนาดเล็กที่หลุดเข้าไป (ดารารัตน์, 2547) ดอกมีสีเหลืองขนาดใหญ่เห็นได้ชัดช่อดอกโผล่ขึ้นมาเหนือบริเวณผิวน้ำ ก้านช่อดอกยาว 5-15 ซม. ออกดอกเป็นช่อในแต่ละช่อมีดอกย่อย 5-10 ดอก มีใบประดับรองรับช่อดอก กลีบเลี้ยงไม่เท่ากันทุกกลีบมีสีเขียวปนน้ำตาลและมีขีดสีแดงกระจายอยู่โดยทั่วของกลีบ ยาว 3-4 มม. กลีบดอกอันใหญ่สุดอยู่ทางด้านล่าง กลีบดอกอื่นจะมีขนาดเป็น 2-3 เท่าของกลีบเลี้ยง ก้านชูอับเรณูโดยเฉลี่ยยาว 2 มม. รังไข่รูปร่างกลม ผลรูปร่างยาวขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4-5 มม. เมล็ดแบนกว้าง 1.5-2 มม. และมีลวดลายบนเมล็ด ขยายพันธุ์ด้วยเมล็ดหรือลำต้น (ประวิทย์, 2550)

1.2.7 ปัจจัยที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชน้ำ

พืชน้ำเป็นสิ่งมีชีวิตที่สร้างอาหารได้เองโดยกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง เช่นเดียวกับพืชบก แต่พืชน้ำที่เจริญอยู่ใต้น้ำจะดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายอยู่ในน้ำแทนที่จะดูดซับจากอากาศ โดยอาศัยส่วนสีเขียวในใบพืชหรือคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) และแสงสว่างเป็นตัวช่วยผลิตกลูโคสแล้วจึงเปลี่ยนกลูโคสที่เหลือใช้เก็บไว้ในรูปของแป้งหรือคาร์บอไฮเดรตเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต ซึ่งจากกระบวนการนี้จะได้ก๊าซออกซิเจนเป็นผลพลอยได้

นอกจากนั้นพืชน้ำยังดูดซับธาตุอาหารต่างๆ ที่ละลายอยู่ในน้ำโดยผ่านทางรากเพื่อประโยชน์ในการเจริญเติบโตอีกด้วย (Gu, 2006) การเปลี่ยนแปลงอัตราการดูดซับสารอาหารของพืชน้ำมีความพันธ์กับการเปลี่ยนปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิ ความเข้มแสง สารอาหาร และความสามารถในการดูดซับของพืชน้ำชนิดนั้น ๆ (Keskinkan *et al*., 2004)

ปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการดำรงชีวิตของพืชน้ำได้แก่ แสง คุณสมบัติของน้ำ และธาตุอาหารต่าง ๆ

1) แสง

แสงมีความสำคัญต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงเพื่อใช้ในการสร้างอาหาร โดยพบว่าบริเวณที่แสงมีความเข้มมากพืชน้ำบริเวณนั้นขนาดใหญ่กว่าบริเวณที่ได้รับแสงมีความเข้มน้อยกว่า แหล่งกำเนิดแสงที่ต่างกันย่อมให้ความเข้มแสงต่างกัน ซึ่งแหล่งที่มาของแสงที่มีคุณภาพมากที่สุดต่อการเจริญเติบโตของพืชน้ำคือแสงจากธรรมชาติ ส่วนแสงจากหลอดไฟนั้นเป็นแหล่งแสงที่สามารถควบคุมปริมาณความเข้มแสงและระยะเวลาการให้แสงแก่พืชน้ำได้ (วันเพ็ญ และกาญจนรี, 2543) ระดับความเข้มแสงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชใต้น้ำคือ 1,200-1,600 ลักซ์ (Hong *et al*., 1997)

สุชาดา (2542) กล่าวว่า แสงมีส่วนเกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโต และเปลี่ยนแปลงรูปร่างลักษณะของพืชน้ำ และพืชน้ำที่อาศัยอยู่ในระดับความลึกต่าง ๆ กันก็จะได้รับปริมาณแสงแตกต่างกันด้วย ถ้าปริมาณแสงน้อยเกินไปพืชน้ำจะไม่เจริญเติบโตและตายได้ แต่ถ้าปริมาณแสงมากเกินไปจะทำให้เกิดปัญหาตะไคร่น้ำเกาะตามส่วนต่าง ๆ ของพืชน้ำ (สมรักษ์, 2544) แสงมีอิทธิพลต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช 3 กรณีคือ การเปลี่ยนแปลงของแสงในแต่ละวัน ความเข้มแสงที่พืชได้รับ และปริมาณแสงที่พืชได้รับ (มณีรัตน์, 2547)

2) อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญกับพืชน้ำ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชน้ำ และการเพิ่มจำนวนในปริมาณที่แตกต่างกัน ประเทศไทยมีอุณหภูมิของน้ำเปลี่ยนแปลงระหว่าง 26-29 °ซ. สอดคล้องกับสุชาดา (2542) และ วันเพ็ญ และ

กาญจนรี (2543) ซึ่งรายงานว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพรรณไม้ใต้น้ำอยู่ในช่วง 25-29 °ซ.

3) ความเป็นกรด-ด่าง

ความเป็นกรด-ด่างของน้ำมีผลต่อการเจริญเติบโตและการแพร่กระจายของพืชน้ำซึ่งพืชน้ำจะสามารถใช้ธาตุอาหารในน้ำได้ดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับระดับความเป็นกรด-ด่างถ้าความเป็นกรด-ด่างของน้ำต่ำหรือสูงเกินไปพืชน้ำไม่สามารถเจริญเติบโตได้ดี (วีระพันธ์ และชาลทอง, 2540) ระดับความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพรรณไม้ใต้น้ำคือ 6.5-7.5 (Sulvucci and Bowes, 1983)

4) ความกระด้างของน้ำ

ความกระด้างของน้ำไม่ถือว่าเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดอันตรายต่อพืชน้ำ แต่ความกระด้างของน้ำจะมีความสัมพันธ์กับความเป็นกรด-ด่าง (วีระพันธ์ และชาลทอง, 2540) ความกระด้างที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพรรณไม้ใต้น้ำอยู่ในช่วง 75-150 มก./ล. (กาญจนรี, 2550)

5) ออกซิเจนละลายน้ำ

ออกซิเจนละลายน้ำเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของพืชน้ำ อาจได้จากบรรยากาศโดยตรง ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง หรือได้จากกระบวนการทางด้านเคมีอื่น ๆ ในน้ำ แต่ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มแสงเป็นสำคัญ โดยออกซิเจนละลายที่พืชน้ำใช้ในการหายใจส่วนใหญ่ได้มาจากการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชน้ำในเวลากลางวัน (สุชาดา, 2542)

ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพรรณไม้ใต้น้ำอยู่ในช่วง 5-9 มก./ล. (วีระพันธ์ และชาลทอง, 2540; นงนุช, 2544) การที่พืชจะสามารถปรับเปลี่ยนธาตุอาหารที่อยู่ในเซลล์ได้นั้นต้องอาศัยปริมาณออกซิเจนที่เพียงพอในการเข้าไปทำปฏิกิริยาทางเคมีกับธาตุอาหารต่าง ๆ เพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีประโยชน์ต่อพืช และรากที่ได้รับออกซิเจนน้อยจะมีลักษณะผอมและยาวกว่ารากที่ได้รับออกซิเจนอย่างเพียงพอ (สุชาดา, 2542)

6) คาร์บอนไดออกไซด์

พืชน้ำใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง การเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำมีผลทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง และค่าความกระด้างของน้ำเปลี่ยนแปลงไปด้วย ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพรรณไม้ใต้น้ำอยู่ในช่วง 5-15 มก./ล. (กาญจนรี, 2550; Sampath, 1994)

7) ธาตุอาหารหรือปุ๋ย

พืชน้ำจะเจริญเติบโตได้ดีเมื่อมีธาตุอาหารที่สมดุล ธาตุอาหารหลักที่มีความสำคัญต่อพืชน้ำคือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียม ธาตุอาหารที่จำเป็นมากที่สุดคือไนโตรเจน ซึ่งเป็นธาตุที่เร่งให้ใบและลำต้นเจริญได้ดี รองลงมาได้แก่ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียม การเพิ่มธาตุอาหารหรือปุ๋ยให้กับพืชน้ำมากเกินไปจะทำให้เกิดตะไคร่น้ำได้ง่ายส่วนโปแตสเซียมจะเป็นธาตุที่ขาดแคลนในตู้พืชน้ำ สำหรับไนโตรเจนจะได้จากสิ่งขับถ่ายของปลา ตามหลักสากลซึ่งนิยมวัดสัดส่วนปุ๋ยเป็นปริมาณไนโตรเจนรวม (Total Nitrogen) ฟอสฟอริกแอซิด (H_3PO_4) และโปแตสเซียมที่ละลายได้ (K_2O) ดังนั้นสูตรปุ๋ยที่เหมาะสมต่อการปลูกพืชน้ำส่วนใหญ่คือ N: H_3PO_4: K_2O = 3: 2: 1 โดยปริมาณการใส่ปุ๋ยพืชใต้น้ำควรใช้ประมาณ 0.1-0.3 มก./ล. ความถี่การให้ปุ๋ยควรให้ประมาณ 1-2 สัปดาห์ ต่อ 1 ครั้ง หรือ ปุ๋ย NPK สูตร 25-5-5, 30-20-10 หรือ 27-17-10 อัตราความเข้มข้น 5-15 มก./ล. (สุชาดา, 2542)

Cizkova และ Bauer (l998) กล่าวว่าพืชที่ได้รับอาหารในความเข้มข้นสูงจะทำให้ได้รับความเป็นพิษจากองค์ประกอบบางตัวเช่น กรดอินทรีย์ และ ซัลเฟต กาญจนรี (2550) กล่าวว่าสิ่งที่ควรระวังในการใช้ปุ๋ยคือ การผสมเป็นสารละลายเพื่อให้สะดวกในการใช้อาจเกิดแก๊สขึ้นในขวดเมื่อเก็บไว้นาน ดังนั้นปุ๋ยที่ดีจึงควรเป็นปุ๋ยที่ทำเป็นสารละลายแล้วอยู่ตัวได้นาน ไม่เสื่อมสภาพง่าย

1.2.8 การเจริญเติบโตของพืชน้ำ

ช่วงการเจริญทางลำต้นและใบของพืชน้ำเป็นช่วงเวลาที่มีความสำคัญอย่างมาก เนื่องจากเป็นช่วงที่พืชต้องการปัจจัยต่างๆ มาใช้ในการเจริญเติบโต อัตราการเจริญเติบโตของพืชทางลำต้นและใบสามารถวัดออกมาได้หลายแบบดังนี้

1) น้ำหนักแห้งที่เพิ่มขึ้นในพื้นที่โดยนำมาอบแห้งจนน้ำหนักคงที่แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก

2) น้ำหนักสด คือน้ำหนักของสิ่งมีชีวิตที่เก็บเกี่ยวมาชั่งในช่วงนั้น

3) จำนวนต้น ใบ กิ่งหรือหน่อต่อพื้นที่หรือต้น

4) ความสูงของพืช (พรชัย, 2540)

5) มวลชีวภาพ เป็นน้ำหนักเนื้อเยื่อที่ยังคงมีชีวิตต่อหน่วยพื้นที่

ลักษณะการเจริญเติบโตของพืชน้ำ จะเห็นได้ว่าพืชน้ำในส่วนที่ขยายพันธุ์ออกมาหรือต้นที่งอกมาใหม่นั้นจะเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว และอัตราการเจริญเติบโตจะเริ่มคงที่เมื่อพืชน้ำมีอายุมากขึ้น ในขณะที่ความหนาแน่นของพืชน้ำเพิ่มขึ้นด้วย

1.2.9 ทฤษฎีการบำบัดน้ำเสียโดยพืชน้ำ

การบำบัดน้ำเสียโดยพืชน้ำเป็นอีกหนึ่งในหลายวิธีซึ่งมีประสิทธิภาพสูง พืชน้ำมีความสามารถในการบำบัดสารมลพิษโดยอาศัยปัจจัยหลักคือ การเจริญเติบโตของ พืชน้ำ (Hammer, 1989) และจุลินทรีย์ซึ่งอาศัยอยู่บริเวณรากและส่วนของพืชน้ำที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ โดยจุลินทรีย์จะนำออกซิเจนไปใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ เช่น ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ออกซิเจนจากอากาศจะถูกพืชน้ำดูดซับได้มากกว่าการแพร่ออกในบริเวณรอบ ๆ รากพืช (Rhizosphere) ก่อให้เกิดภาวะออกซิเดชันทำให้เพิ่มจำนวนและกิจกรรมของจุลินทรีย์ในการบำบัดสารอินทรีย์ละลายและสารอินทรีย์แขวนลอย ทำให้คุณภาพของน้ำดีขึ้น (Steinberge and Coonrod, 1994; Mar *et al*., 1999) นอกจากนี้ยังอาศัยหลักการตกตะกอน (physical-sedimentation) ของน้ำเสียเอง แบคทีเรียในระบบบำบัดน้ำเสียนั้นจะใช้รากของพืชน้ำและลำต้นของพืชน้ำในระบบเป็นที่อยู่อาศัย (habitat) ออกซิเจนซึ่งเป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับแบคทีเรียในการย่อยสลายของเสียแบบใช้อากาศ (aerobic digestion) ได้มาจากการที่ออกซิเจนละลายลงในน้ำส่วนหนึ่ง แต่ส่วนใหญ่แล้วแบคทีเรียจะได้ออกซิเจนจากการสร้างของพืชน้ำแล้วส่งไปที่ราก และลำต้นที่มีแบคทีเรียอาศัยอยู่เกิดกระบวนการ nitrification ในสภาวะที่มี

ออกซิเจน nitrifying bacteria ย่อยสลาย $NH_3 \longrightarrow NO_2^- \longrightarrow NO_3^{2-}$ และในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน เกิดกระบวนการ denitrification โดย denitrifying bacteria ย่อยสลาย $NO_3^{2-} \longrightarrow NO_2^- \longrightarrow$ N กลายเป็นก๊าซไนโตรเจนกลับสู่บรรยากาศ โดย Wolverton และ Mc Donald (1979) พบว่าพืชน้ำมีความสามารถในการดูดซับโลหะหนักที่มีในน้ำเสียได้ เพื่อนำไปใช้ในการสร้างมวลชีวภาพ ซึ่งพืชน้ำแต่ละชนิดมีความสามารถในการดูดซับโลหะหนักได้ต่างกัน แต่พบว่าบ่อยครั้งจะเกิดปัญหาการขาดแคลนธาตุอาหารและพืชน้ำให้ผลผลิตต่ำในช่วงระยะเวลาที่ศึกษา โดยมีสาเหตุมาจากปริมาณธาตุอาหารในสารละลายไม่เพียงพอและเกิดการสะสมของสารประกอบในรูปของเกลือมากเกินไป เพราะฉะนั้นการที่จะควบคุมระดับความเข้มข้นของธาตุอาหารจะทำได้ยาก ถ้าคุณภาพของอาหารที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำไม่แน่นอน (Rakocy *et al*., 1993) ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องมีการตรวจวัดปริมาณธาตุอาหารในน้ำอยู่เสมอ โดยจะต้องมีการเติมธาตุอาหารและเปลี่ยนถ่ายน้ำบ้างบางส่วนเพื่อแก้ไขปัญหาการขาดแคลนธาตุอาหารและการสะสมของพวกเกลือต่าง ๆ ตามลำดับ (Seawright *et al*., 1998) โดยระดับความเข้มข้นของธาตุอาหารในระบบนี้จะมีการผันแปรไปเช่นไรนั้นขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างสัตว์น้ำกับพืชน้ำ

พืชน้ำยังมีบทบาทในการลดปริมาณสารอินทรีย์ แอมโมเนีย ไนไตรท์และไนเตรท การดูดซับแอมโมเนีย ไนไตรท์และไนเตรทผ่านระบบรากจึงทำให้ปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรท์และไนเตรทลดลงตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Mar *et al*., 1999; Ghayl *et al*., 2005) และพืชน้ำยังช่วยให้อนุภาคของแข็งแขวนลอยเกิดการตกตะกอนได้ดียิ่งขึ้น โดยรากพืชทำหน้าที่เป็นตัวกรองตะกอนและของแข็งแขวนลอย (Brix, 1997; Stottmeister *et al*., 2003) จึงมีผลต่อปริมาณความขุ่นที่ลดลงเช่นกัน และหลักการทำงานของพืชน้ำในการบำบัดน้ำเสียได้แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 หลักการทำงานของพืชน้ำในการบำบัดน้ำเสีย

ส่วนของพืช	หลักการทำงานของพืช
รากและ/หรือ ก้าน หรือลำต้น ที่อยู่ในน้ำ	- ดูดซับ (uptake) สารพิษและสารอาหาร - เป็นพื้นผิวให้จุลินทรีย์อาศัย และเจริญเติบโต - เป็นตัวกลางในการกรอง (filtration) และดูดซับ (absorption) ตะกอน และของแข็งที่ลอยอยู่ในน้ำ - ทำให้ความเข้มของแสงที่ส่องตรงสู่ผิวน้ำลดลงดังนั้นจึงช่วยป้องกันการเจริญเติบโตของสาหร่ายที่อยู่ในน้ำ
ก้าน, ลำต้น และ/หรือใบ ที่อยู่เหนือน้ำ	- ลดอิทธิพลของลมที่มีต่อน้ำ เช่นการพัดและทำให้ตะกอนที่จมอยู่ขุ่นขึ้นมา - ทำให้การส่งผ่าน (transfer) ของก๊าซและความร้อนระหว่างบรรยากาศและน้ำลดลง

ที่มา: Stowell และคณะ (1981); Brix (1997)

1.3 วัตถุประสงค์ของการทดลอง

1.3.1 ศึกษาประสิทธิภาพและอัตราการดูดซับธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสรวมของสาหร่ายหางกระรอก สาหร่ายพุงชะโด และสาหร่ายข้าวเหนียวในน้ำจากการเลี้ยงปลาทอง

1.3.2 ศึกษาระดับความหนาแน่นที่เหมาะสมของพืชน้ำชนิดที่มีประสิทธิภาพและอัตราการดูดซับธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสรวมดีที่สุด

1.3.3. ศึกษาการเลี้ยงพืชน้ำชนิดที่เหมาะสมร่วมกับปลาทองในระบบปิด

บทที่ 2

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

2.1 วัสดุ อุปกรณ์การทดลอง

2.1.1 พันธุ์ปลาทอง

ปลาทองพันธุ์ออแรนดา (*Carassius auratus*) อายุประมาณ 1 เดือน น้ำหนักเฉลี่ย 15-20 ก. ได้จากร้านขายปลาเอกชนใน ต. หาดใหญ่ อ. หาดใหญ่ จ. สงขลา (ภาพที่ 1) โดยนำมาพักไว้ในถังไฟเบอร์กลาสกลมขนาด 1 ตัน พร้อมทั้งมีการให้อากาศ และมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำทุกวัน พักปลาทองก่อนการทดลอง 1 สัปดาห์เพื่อให้ปลาทองได้ปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมของถังเลี้ยงปลา

ภาพที่ 1 ลักษณะทั่วไปของปลาทองพันธุ์ออแรนดา (*Carassius auratus*)

2.1.2 พืชน้ำ

พืชน้ำที่นำมาใช้ในการทดลองมี 3 ชนิดคือสาหร่ายหางกระรอก สาหร่ายพุงชะโด และสาหร่ายข้าวเหนียว รวบรวมมาจากแหล่งน้ำธรรมชาติบริเวณ ต. นาหม่อม อ. นาหม่อม จ.สงขลา พืชน้ำที่รวบรวมได้จากแหล่งน้ำธรรมชาติ มักมีตะกอน โคลนทราย รวมทั้งสิ่งมีชีวิต ได้แก่ กุ้ง หอย ปู และจุลินทรีย์พวกโปรโตซัว (ciliated protozoa) ตลอดจนพืชอิงอาศัยที่ติดมากับพืชน้ำด้วย จำเป็นต้องขจัดออกโดยการล้างพืชน้ำหลาย ๆ ครั้ง พร้อมกับใช้ปากคีบและแปรงขนอ่อน ช่วยในการคัดแยกเอาสิ่งที่ไม่ต้องการออกจนหมดสิ้น จากนั้นนำต้นพันธุ์พืชน้ำไปผ่านการฆ่าสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ที่

อาจเกาะติดมากับสาหร่ายโดยแช่ในสารละลายด่างทับทิมเจือจาง 10 มก./ล. เป็นเวลา 30 นาที แล้วพักไว้ในน้ำที่สะอาดเพื่อดำเนินการต่อไป (ไพโรจน์, 2541)

2.1.3 อาหารสำหรับปลาทอง

อาหารปลาทองเป็นอาหารปลาสำเร็จรูปชนิดเม็ดลอยน้ำ มีเส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดอาหารประมาณ 2.2-2.5 มม. โดยมีส่วนประกอบของธาตุอาหารคือโปรตีน 40% คาร์โบไฮเดรต 44% ไขมัน 10% วิตามินและแร่ธาตุ 6%

2.1.4 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างน้ำ

1) ขวดพลาสติก (Polyethylene) ขนาด 240 มล.
2) ขวดบีโอดี

2.1.5 อุปกรณ์เลี้ยงปลาทอง

1) ตู้กระจกขนาด 40×60×40 ซม.
2) เครื่องกรองน้ำแบบติดข้างตู้ (Corner filter)
3) ถังไฟเบอร์กลาสกลมขนาดจุ 1 ตัน
4) อุปกรณ์ให้อากาศ ประกอบด้วยเครื่องให้อากาศ สายยางและหัวทราย
5) เครื่องสูบน้ำ
6) อุปกรณ์เปลี่ยนถ่ายน้ำ ได้แก่สายยาง เครื่องสูบน้ำชนิดจุ่ม
7) อุปกรณ์ขนย้ายปลา ได้แก่ สวิงช้อนปลา ขันพลาสติก ถังพลาสติก

2.1.6 วัสดุและอุปกรณ์วิเคราะห์คุณภาพน้ำ

1) เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่งของ Satorius รุ่น Basic
2) เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง ของ Satorius รุ่น Research
3) เครื่องมือวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) รุ่น Denver Instrument Basic

4) สเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) ของ Shimadzu รุ่นUV 1201V.

5) กระดาษกรอง Whatman GF/C

6) ตู้อบ และโถดูดความชื้น (desiccator)

7) ชุดกรองสุญญากาศ

8) Reduction column บรรจุ cation exchange resin

9) Magnetic stirrer

10) เครื่องแก้วที่ใช้ในการตรวจวัดคุณภาพน้ำ ได้แก่ หลอดทดลอง (test tube) ขวดรูปชมพู่ (flask) บีกเกอร์ (beaker) ขวดปรับปริมาตร (volumetric flask) กระบอกตวง (volumetric cylinder) ปิเปต (pipet)

11) ชุดกรองสุญญากาศ (vacuum pump) พร้อมอุปกรณ์

12) แผ่นให้ความร้อน (hot plate)

13) น้ำกลั่นชนิด de-ionized

14) สารเคมีที่ใช้ในการตรวจวัดคุณภาพน้ำ

2.1.7 อุปกรณ์สำหรับตรวจวัดการเจริญเติบโตของปลาทองและพืชน้ำ

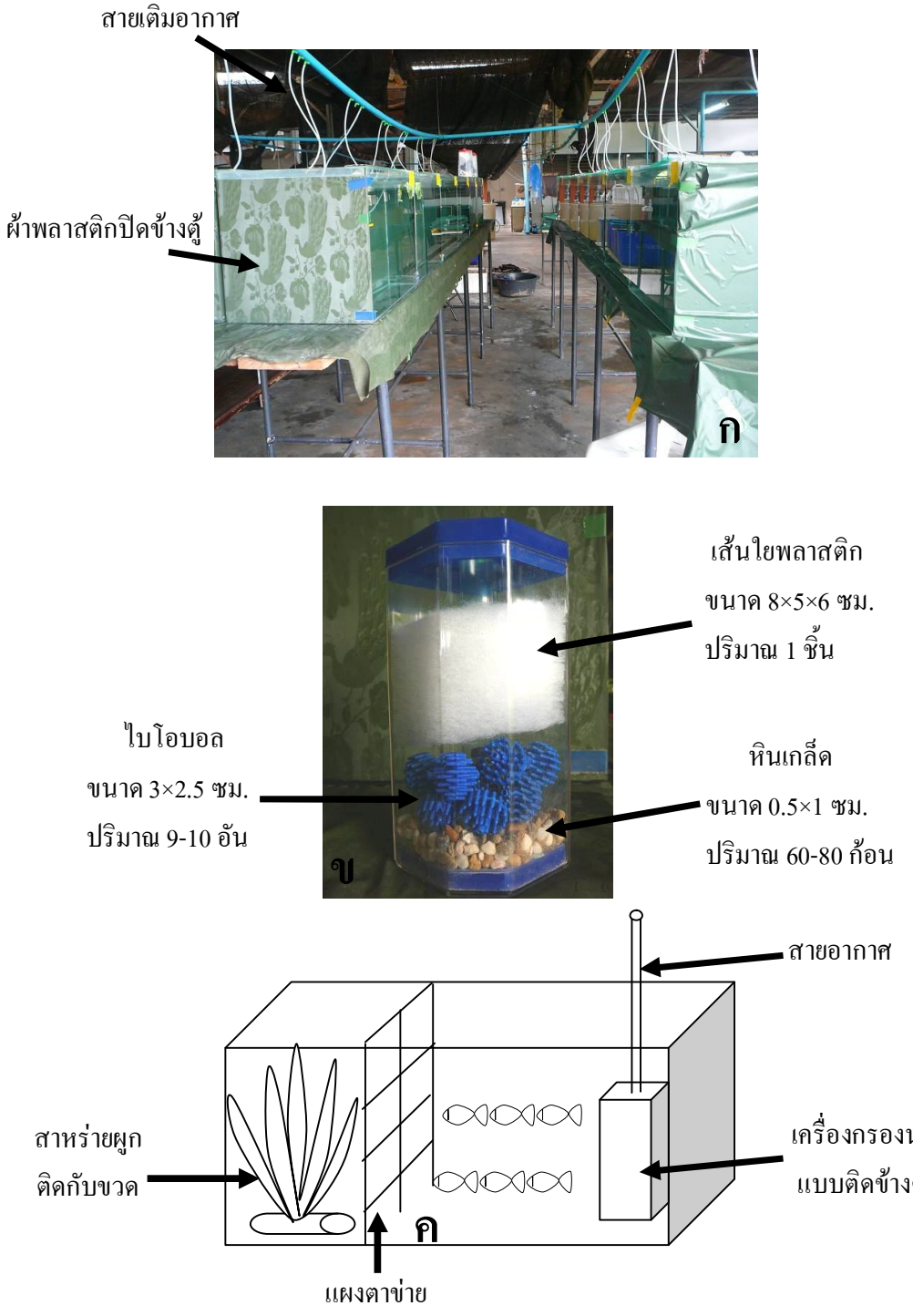
เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Sartorius รุ่น TE 412 ไม้บรรทัด ผ้าขนหนูซับน้ำ ถังน้ำพลาสติกขนาด 3 และ 20 ล. ขันพลาสติก และสวิงช้อนปลา

2.2 วิธีการทดลอง

2.2.1 การเตรียมตู้ทดลองและน้ำในการทดลอง

1) การเตรียมตู้ทดลอง

ตู้ที่ใช้ในการทดลองทั้งหมดเป็นตู้กระจกสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 40×60×40 ซม. มีการให้อากาศตลอดเวลา ภายในตู้ทดลองมีเครื่องกรองน้ำแบบติดข้างตู้สำหรับการทดลองที่ 3 และมีผ้าพลาสติกปิดข้างตู้เว้นเฉพาะด้านหน้าเพื่อสะดวกในการติดตามผลการศึกษาดังภาพที่ 2 แสงในการทดลองมีการใช้หลอดไฟฟลูออเรซเซนซ์จำนวน 3 หลอด เป็นระยะเวลา 12 ชม./วัน



ภาพที่ 2 ลักษณะตู้ทดลอง (ก) เครื่องกรองน้ำแบบติดข้างตู้ (ข) และภาพจำลองระบบการทดลองที่ 3 (ค)

2) การเตรียมน้ำในตู้ทดลอง

ใช้น้ำประปาจากโรงเรือนเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำภาควิชาวาริชศาสตร์มาพักไว้เป็นเวลา 7 วัน ในถังไฟเบอร์กลาสขนาดความจุ 1 ตัน โดยให้อากาศตลอดเวลา และตรวจวัดปริมาณคลอรีนด้วยสารละลาย orthotolidine เพื่อให้แน่ใจว่าปราศจากคลอรีน (ศุลีมาศ, 2551) แล้วนำมาผ่านการกรองด้วยถุงกรองแพลงก์ตอนขนาดช่องตา 20-60 ไมครอน ใส่ในตู้ทดลองตู้ละ 60 ล.

2.2.2 การวางแผนการทดลอง

การทดลองแบ่งออกเป็น 3 การทดลอง

1) ศึกษาอัตราการดูดซับธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของสาหร่ายหางกระรอก สาหร่ายพุงชะโด และสาหร่ายข้าวเหนียวในน้ำจากการเลี้ยงปลาทอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (completely randomized design; CRD) แบ่งออกเป็น 4 ชุดการทดลอง จำนวน 3 ซ้ำ ชุดการทดลองที่ 1 ชุดควบคุม (ไม่มีการใส่พืชน้ำ) ชุดการทดลองที่ 2 สาหร่ายหางกระรอก ชุดการทดลองที่ 3 สาหร่ายพุงชะโด และชุดการทดลองที่ 4 สาหร่ายข้าวเหนียว ใช้ตู้ทดลองทั้งหมด 12 ตู้ เป็นตู้กระจกซึ่งมีขนาด 40×60×40 ซม. เติมน้ำที่เตรียมไว้ 60 ล. ลงในตู้ทดลองครั้งเดียวพร้อมทั้งมีการให้อากาศ เลี้ยงปลาทองขนาดประมาณ 2.5 ก. ที่อัตราความหนาแน่น 1 ตัว/ปริมาตรน้ำ 3 ล. (ศิริวัฒน์, 2544) โดยใช้ระยะเวลาในการเลี้ยงปลาทอง 1 วัน เนื่องจากต้องการดูอัตราการปล่อยของเสียของปลาทองใน 1 วัน มีการให้อาหารปลาในอัตราร้อยละ 3 ของน้ำหนักปลาต่อวัน เมื่อครบกำหนด 1 วันนำปลาทองออกจากตู้ทดลองไปพักไว้ในถังไฟเบอร์กลาสแล้วนำพืชน้ำทั้ง 3 ชนิดคือ สาหร่ายหางกระรอก สาหร่ายพุงชะโด และสาหร่ายข้าวเหนียวมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำหลาย ๆ ครั้ง พร้อมกับใช้ปากคีบและแปรงขนอ่อนในการคัดแยกสิ่งที่ไม่ต้องการออก จากนั้นนำพืชน้ำมาฆ่าสิ่งมีชีวิตที่อาจติดมากับพืชน้ำโดยแช่ในสารละลายด่างทับทิมเจือจาง 10 มก./ล. เป็นเวลา 30 นาที และล้างด้วยน้ำอีกครั้ง แล้วจึงซับน้ำออกให้หมดด้วยผ้าขนหนู นำไปชั่งน้ำหนักให้ได้ 2.5 ก. แล้วผูกรวมกันเป็นช่อจากนั้นจึงถ่วงน้ำหนักพืชน้ำด้วยการผูกติดกับขวดขนาดเล็กแล้วนำไปใส่ในตู้ทดลองที่ได้นำปลาทองออกแล้ว ทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำได้แก่ แอมโมเนียด้วยวิธี Indophenol, ไนไตรท์ด้วยวิธี Diazotization, ไนเตรทด้วยวิธี Cadmium reduction method และออร์โธฟอสเฟตด้วยวิธี Stannous

chloride ตามวิธีการของ Boyd และ Tucker (1992) เมื่อเริ่มต้นการทดลองและทุก ๆ วันจนครบ 5 วัน เนื่องจากในการทดลองเกี่ยวกับการใช้ธาตุอาหารของพืชพบว่าพืชจะดูดซับธาตุอาหารได้ดีในช่วง 5 วันแรก หลังจากนั้นปริมาณธาตุอาหารจะลดลงทำให้อัตราการเจริญเติบโตของพืชลดลง (ยงยุทธ, 2543) แล้วนำผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำที่ได้ไปวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำดังนี้ (ศุลีมาศ, 2551)

$$E = [[(C_{t1}\text{-}C_{t2})\ \text{ชุดทดลอง} - (C_{t1}\text{-}C_{t2})\ \text{ชุดควบคุม}]/C_{t1}\ \text{ชุดทดลอง}] \times 100$$

เมื่อ E = ประสิทธิภาพการบำบัด (%)

C_{t1} = ความเข้มข้นของธาตุอาหารที่เวลา t_1 (มก./ล.)

C_{t2} = ความเข้มข้นของธาตุอาหารที่เวลา t_2 (มก./ล.)

t = ระยะเวลาในการทดลอง (วัน)

และวิเคราะห์หาอัตราการดูดซับสารอาหารโดยใช้สูตรในการคำนวณอัตราการดูดซับธาตุอาหารของพืชน้ำ ดังนี้ (ศุลีมาศ, 2551)

$$U = [(C_{t1}\text{-}C_{t2})\ \text{ชุดทดลอง} - (C_{t1}\text{-}C_{t2})\ \text{ชุดควบคุม}] / w \times t \times vol$$

เมื่อ U = อัตราการดูดซับอาหาร (มก./ก.น้ำหนักสด/วัน)

C_{t1} = ความเข้มข้นของธาตุอาหารเมื่อเริ่มต้นที่เวลา t_1 (มก./ล.)

C_{t2} = ความเข้มข้นของธาตุอาหารที่เวลา t_2 (มก./ล.)

vol = ปริมาตรน้ำ (ล.)

w = น้ำหนักสดของพืชน้ำ (ก.)

t = ระยะเวลาในการทดลอง (วัน)

นำค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำและอัตราการดูดซับสารอาหารไปวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของตัวแปรโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบแจกแจงทางเดียว (One-way Analysis of Variance; ANOVA) และทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของตัวแปรโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (Duncan, 1955) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % การวิเคราะห์สถิติทั้งหมดใช้เครื่องคอมพิวเตอร์และโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for Windows version 13.0 และ Microsoft Excel

2) ศึกษาระดับความหนาแน่นที่เหมาะสมของพืชน้ำชนิดที่มีอัตราการดูดซับปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสดีที่สุด

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด โดยเลือกชนิดของพืชน้ำที่มีอัตราการดูดซับไนโตรเจนและฟอสฟอรัสดีที่สุดจากการทดลองที่ 1 คือสาหร่ายข้าวเหนียวมาศึกษาระดับความหนาแน่นที่เหมาะสมในการดูดซับไนโตรเจนและฟอสฟอรัสดีที่สุดโดยแบ่งออกเป็น 4 ชุดการทดลอง จำนวน 3 ซ้ำ โดยชุดการทดลองที่ 1 เป็นชุดควบคุม (ไม่มีการใส่สาหร่ายข้าวเหนียว) ชุดการทดลองที่ 2, 3 และ 4 ใส่สาหร่ายข้าวเหนียวความหนาแน่น 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. ตามลำดับ ใช้ตู้ทดลองทั้งหมด 12 ตู้ เป็นตู้กระจกซึ่งมีขนาด 40×60×40 ซม. เติมน้ำที่เตรียมไว้ 60 ล. ลงในตู้ทดลองครั้งเดียวพร้อมทั้งมีการให้อากาศ เลี้ยงปลาทองขนาดประมาณ 2.5 ก. ที่อัตราความหนาแน่น 1 ตัว/ปริมาตรน้ำ 3 ล. (ศิริวัฒน์, 2544) โดยใช้ระยะเวลาในการเลี้ยงปลาทอง 1 วัน เนื่องจากต้องการดูอัตราการปล่อยของเสียของปลาทองใน 1 วัน มีการให้อาหารปลาในอัตราร้อยละ 3 ของน้ำหนักปลาต่อวัน เมื่อครบกำหนด 1 วันนำปลาทองออกจากตู้ทดลองไปพักไว้ในถังไฟเบอร์กลาส แล้วนำสาหร่ายข้าวเหนียวมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำหลาย ๆ ครั้ง พร้อมกับใช้ปากคีบและแปรงขนอ่อนในการคัดแยกสิ่งที่ไม่ต้องการออก จากนั้นนำสาหร่ายข้าวเหนียวมาฆ่าจุลินทรีย์ที่อาจติดมากับสาหร่าย โดยแช่ในสารละลายด่างทับทิมเจือจาง 10 มก./ล. เป็นเวลา 30 นาที และล้างด้วยน้ำอีกครั้ง แล้วจึงซับน้ำออกให้หมดด้วยผ้าขนหนู นำไปชั่งน้ำหนักให้ได้ 2.5 ก. แล้วผูกรวมกันเป็นช่อจากนั้นจึงถ่วงน้ำหนักด้วยการผูกติดกับขวดขนาดเล็กแล้วนำไปใส่ในตู้ทดลองที่ได้นำปลาทองออกแล้ว ทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำได้แก่ แอมโมเนีย, ไนไตรท์, ไนเตรท และออร์โธฟอสเฟตตามวิธีการของ Boyd และ Tucker (1992) เมื่อเริ่มต้นการทดลองและทุกวันจนครบ 5 วัน เนื่องจากในการทดลองเกี่ยวกับการใช้ธาตุอาหารของพืชพบว่าพืชจะดูดซับธาตุอาหารได้ดีในช่วง 5 วันแรก หลังจากนั้นปริมาณธาตุอาหารจะลดลงทำให้อัตราการเจริญเติบโตของพืชลดลง (ยงยุทธ, 2543) แล้วนำผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำที่ได้ไปวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำและอัตราการดูดซับสารอาหารโดยใช้สูตรในการคำนวณเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1

นำค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำและอัตราการดูดซับสารอาหารไปวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของตัวแปรโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบแจกแจงทางเดียวและ ทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของตัวแปรโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (Duncan, 1955) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % การวิเคราะห์สถิติทั้งหมดใช้เครื่องคอมพิวเตอร์และโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for Windows version 13.0 และ Microsoft Excel

3) ศึกษาการเลี้ยงพืชน้ำร่วมกับปลาทองในระบบปิด

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด โดยจัดชุดการทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial) แบบ 3×4 จำนวน 3 ซ้ำ คืออัตราความหนาแน่นของปลาทอง 3 ระดับได้แก่ 0.5, 1.0 และ 1.5 ตัว/ปริมาตรน้ำ 3 ล. และความหนาแน่นของสาหร่ายข้างเหนียว 4 ระดับ 0, 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. ใช้ตู้ทดลองทั้งหมด 36 ตู้ เป็นตู้กระจกซึ่งมีขนาด 40×60×40 ซม. เติมน้ำที่เตรียมไว้ 60 ล. ลงในตู้ทดลอง พร้อมทั้งมีการให้อากาศ เครื่องกรองน้ำ และมีตาข่ายกั้นระหว่างปลาและสาหร่ายข้าวเหนียวเพื่อป้องกันปลาทองที่อาจมากัดกินสาหร่ายข้าวเหนียวได้ โดยนำปลาทองขนาดประมาณ 2.5 ก.ที่ความหนาแน่น 3 ระดับลงเลี้ยงในตู้ทดลองและนำสาหร่ายข้าวเหนียวที่เตรียมไว้โดยล้างทำความสะอาดด้วยน้ำหลาย ๆ ครั้ง พร้อมกับใช้ปากคีบและแปรงขนอ่อนในการคัดแยกสิ่งที่ไม่ต้องการออก จากนั้นนำสาหร่ายข้าวเหนียวมาฆ่าจุลินทรีย์ที่อาจติดมากับสาหร่าย โดยแช่ในสารละลายด่างทับทิมเจือจาง 10 มก./ล. เป็นเวลา 30 นาที และล้างด้วยน้ำอีกครั้ง แล้วจึงซับน้ำออกให้หมดด้วยผ้าขนหนู นำไปชั่งน้ำหนักให้ได้ 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. แล้วผูกรวมกันเป็นช่อจากนั้นถ่วงน้ำหนักด้วยการผูกติดกับขวดขนาดเล็กแล้วนำไปใส่ในตู้ทดลองร่วมกับปลาทองตามแผนการทดลองในตารางที่ 2 ให้อาหารปลาสำเร็จรูปชนิดเม็ดลอยน้ำ ในอัตราร้อยละ 3 ของน้ำหนักปลาต่อวัน ให้วันละ 2 ครั้ง เวลา 08.00 น. และ 16.00 น. และปรับปริมาณอาหารที่ให้ตามน้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้นทุก 2 สัปดาห์ เก็บตัวอย่างน้ำวิเคราะห์ พีเอช โดยใช้ pH Meter, อุณหภูมิ โดยใช้ Thermometer, ออกซิเจน, ความเป็นด่างทั้งหมด, แอมโมเนีย, ไนไตรท์, ไนเตรท และ ออร์โธฟอสเฟตตามวิธีการของ Boyd และ Tucker (1992) ทุก 5 วัน และเติมน้ำให้ครบ 60 ล. ทุก 5 วัน แล้วตรวจวัดคุณภาพน้ำใหม่หลังเติมน้ำทุกครั้ง ระยะเวลาในการทดลอง 56 วัน

ชั่งน้ำหนักสดของปลาทองก่อนการทดลองและทุก 7 วัน โดยสุ่มตัวอย่างปลาทอง 10 ตัว นำมาชั่งน้ำหนักแล้วบันทึกข้อมูลเพื่อนำไปคำนวณหาอัตราการเจริญเติบโต ควบคุมความหนาแน่นของปลาทองให้เท่ากับความหนาแน่นเริ่มต้นตลอดการทดลองโดยหากมีการตายของปลาทองระหว่างการทดลองจะนำปลาทองออกมาจากตู้ทดลองแล้วนำปลาทองตัวใหม่ที่ทำสัญลักษณ์ไว้ใส่กลับลงไปในตู้ทดลองพร้อมทั้งมีการบันทึกเอาไว้เพื่อหาอัตรารอดตายของปลาทอง และหากปลาทองมีอัตราการตายมากกว่า 10 % จะหยุดทำการทดลองในชุดการทดลองนั้น สำหรับสาหร่ายข้าวเหนียวชั่งน้ำหนักเพื่อหาอัตราการเจริญเติบโตทุก 7 วัน และมีการตัดสาหร่ายเพื่อควบคุมน้ำหนักให้เท่ากับน้ำหนักเริ่มต้น โดยนำสาหร่ายข้าวเหนียวขึ้นมาซับเบา ๆ ด้วยผ้าขนหนู

ก่อนนำไปชั่งน้ำหนักและบันทึกข้อมูลเพื่อนำไปคำนวณหาอัตราการเจริญเติบโต การหาอัตราการเจริญเติบโตของปลาทองและสาหร่ายข้าวเหนียวใช้สูตรคำนวณดังนี้ (จิรวัช, 2550)

$$G = (W_{t2}-W_{t1})/t$$

เมื่อ G = การเจริญเติบโต (ก./วัน)

W_{t1} = น้ำหนักสดที่เวลา t_1 (ก.)

W_{t2} = น้ำหนักสดที่เวลา t_2 (ก.)

t = ระยะเวลาในการเลี้ยง (วัน)

วิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมดด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบแจกแจงสองทางโดยวิธี Univariate analysis of variance โดยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for Windows version 13.0 และ Microsoft Excel

ตารางที่ 2 แผนการทดลองศึกษาการเลี้ยงพืชน้ำร่วมกับปลาทองในระบบปิด

ความหนาแน่นของปลาทอง (ตัว/น้ำ 3 ล.) น้ำหนักเฉลี่ยตัวละ 10-15 ก.	ความหนาแน่นของพืชน้ำ (ก./ล.)
0.5	0
	1.5
	2.5
	3.5
1	0
	1.5
	2.5
	3.5
1.5	0
	1.5
	2.5
	3.5

บทที่ 3

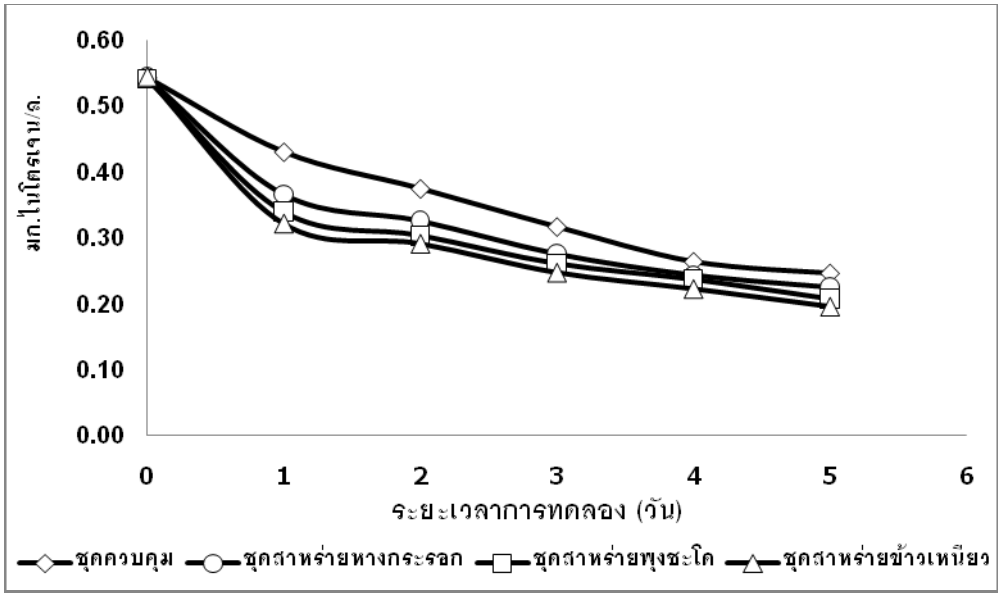
ผลการทดลอง

3.1 อัตราการดูดซับธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของสาหร่ายหางกระรอก สาหร่ายพุงชะโด และสาหร่ายข้าวเหนียวในน้ำจากการเลี้ยงปลาทอง

ทดลองโดยเลี้ยงพืชน้ำทั้ง 3 ชนิดคือสาหร่ายหางกระรอก สาหร่ายพุงชะโด และสาหร่ายข้าวเหนียวอัตราความหนาแน่น 2.5 ก./ล. และชุดควบคุม (ไม่มีการใส่พืชน้ำ) เลี้ยงในน้ำจากการเลี้ยงปลาทองที่อัตราความหนาแน่น 1 ตัว/ปริมาตรน้ำ 3 ล. ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเมื่อเริ่มต้นการทดลอง และในชั่วโมงที่ 6, 12, 18, 24, 48, 72, 96, 120, 144, 168, 216 และ 264 โดยผลจากการศึกษามีดังนี้

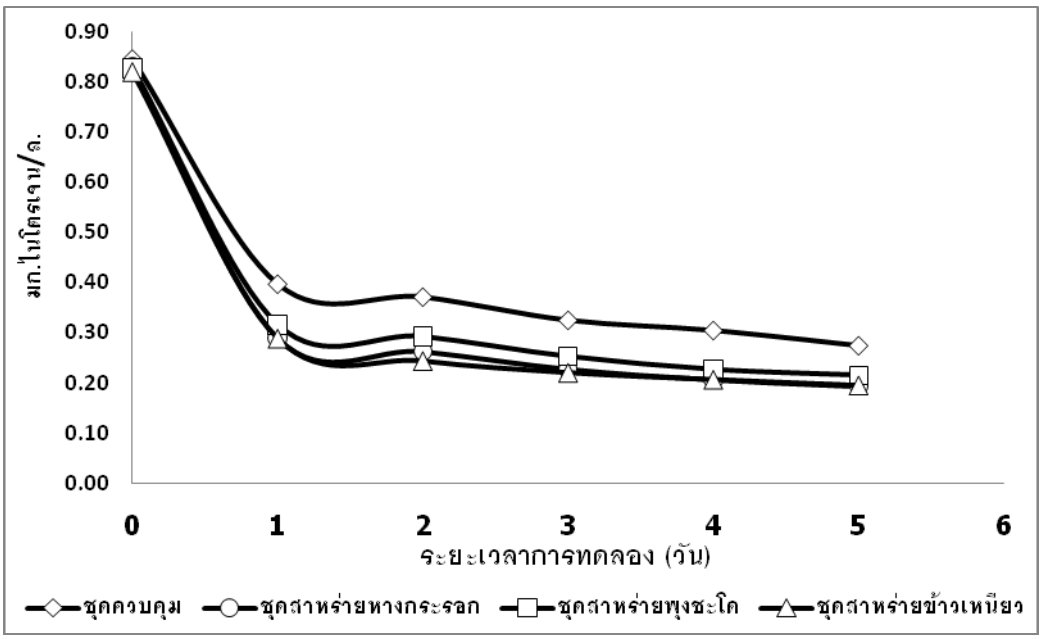
3.1.1 การเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหารในน้ำ

1) ปริมาณแอมโมเนียรวมเฉลี่ยเริ่มต้นอยู่ในช่วง 0.542-0.545 มก.ไนโตรเจน/ล. หลังจากนั้นลดลงเรื่อย ๆ และลดลงต่ำสุดในวันที่ 5 เหลือ 0.196 มก.ไนโตรเจน/ล. ในชุดสาหร่ายข้าวเหนียว ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับชุดที่รองลงมาคือชุดสาหร่ายพุงชะโดซึ่งลดลงเหลือ 0.207 มก.ไนโตรเจน/ล. ชุดสาหร่ายหางกระรอกที่ลดลงเหลือ 0.225 มก.ไนโตรเจน/ล. และชุดควบคุมปริมาณแอมโมเนียรวมลดลงต่ำสุดเหลือ 0.246 มก.ไนโตรเจน/ล. ในวันที่ 5 เช่นกัน (ภาพที่ 3 และ ตารางภาคผนวกที่ 1)



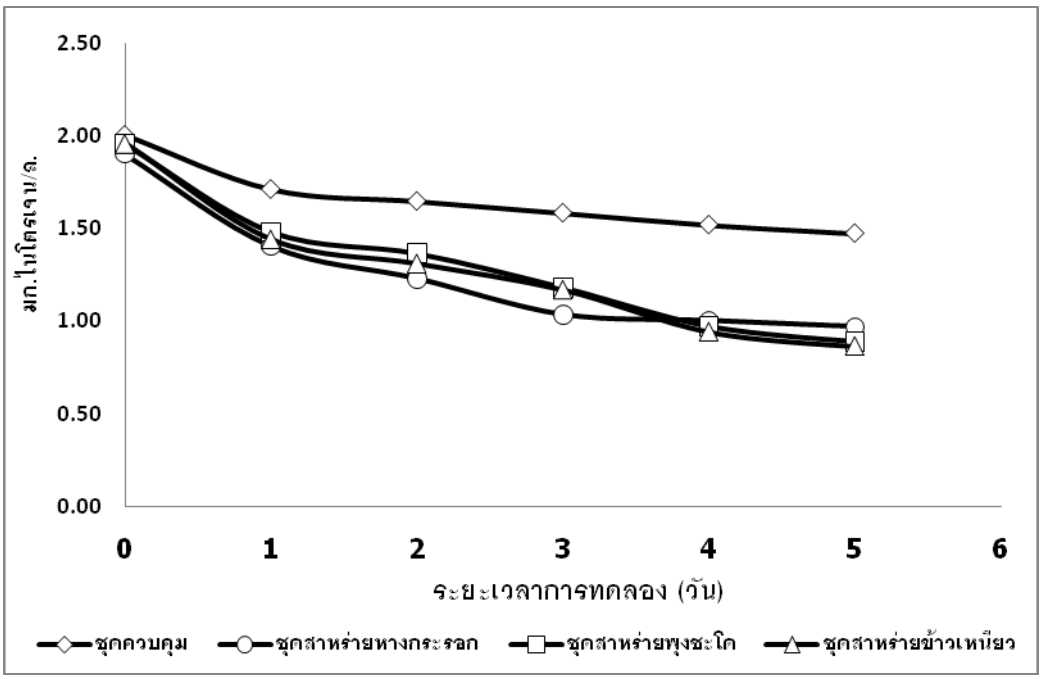
ภาพที่ 3 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณแอมโมเนียรวมเฉลี่ยในน้ำจากการเลี้ยงปลาทองที่ใส่สาหร่ายหางกระรอก สาหร่ายพุงชะโด และสาหร่ายข้าวเหนียว ความหนาแน่น 2.5 ก./ล. ระยะเวลา 5 วัน

2) ปริมาณไนไตรท์เฉลี่ยเริ่มต้นอยู่ในช่วง 0.820-0.846 มก.ไนโตรเจน/ล. หลังจากนั้นลดลงเรื่อย ๆ และลดลงต่ำสุดในวันที่ 5 เหลือ 0.194 มก.ไนโตรเจน/ล. ในชุดสาหร่ายหางกระรอก โดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับชุดที่รองลงมาคือชุดสาหร่ายข้าวเหนียว ซึ่งเหลือ 0.195 มก.ไนโตรเจน/ล. แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับชุดสาหร่ายพุงชะโดซึ่งลดลงเหลือ 0.215 มก.ไนโตรเจน/ล. และชุดควบคุมซึ่งปริมาณไนไตรท์ลดลงเหลือ 0.274 มก. ไนโตรเจน/ล. (ภาพที่ 4 และตารางภาคผนวกที่ 2)



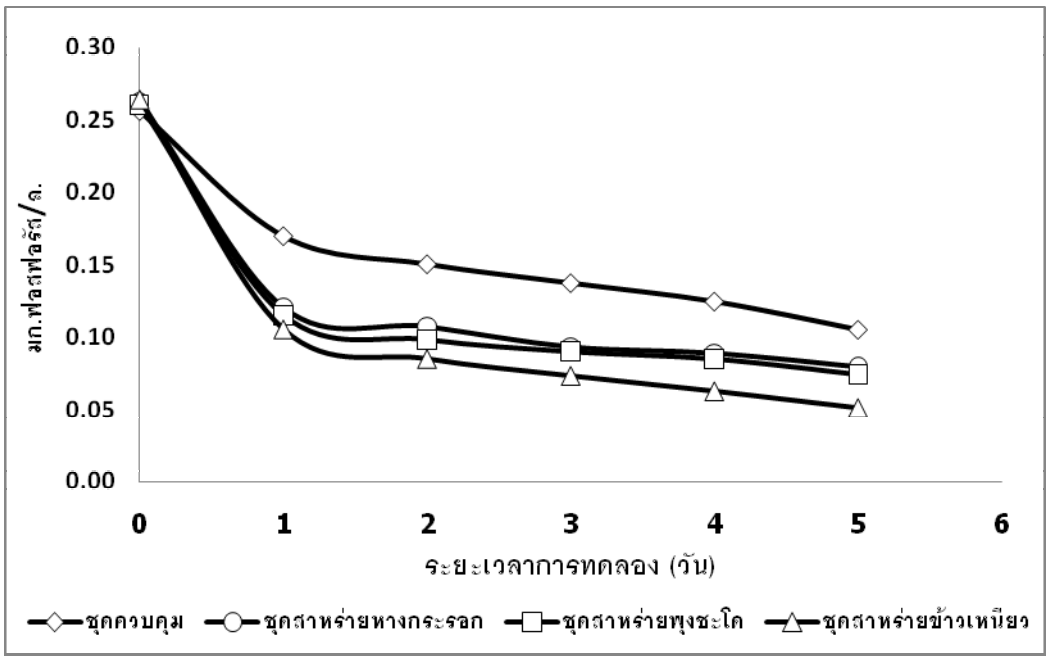
ภาพที่ 4 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณไนไตรท์เฉลี่ยในน้ำจากการเลี้ยงปลาทองที่ใส่สาหร่ายหางกระรอก สาหร่ายพุงชะโด และสาหร่ายข้าวเหนียว ความหนาแน่น 2.5 ก./ล. ระยะเวลา 5 วัน

3) ปริมาณไนเตรทเฉลี่ยเริ่มต้นอยู่ในช่วง 1.904-2.005 มก.ไนโตรเจน/ล. หลังจากนั้นลดลงเรื่อย ๆ และลดลงต่ำสุดในวันที่ 5 เหลือ 0.864 มก.ไนโตรเจน/ล. ในชุดสาหร่ายข้าวเหนียวซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับชุดที่รองลงมาคือชุดสาหร่ายพุงชะโดซึ่งลดลงเหลือ 0.888 มก.ไนโตรเจน/ล. แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับชุดสาหร่ายหางกระรอกซึ่งลดลงเหลือ 0.969 มก.ไนโตรเจน/ล. และชุดควบคุมซึ่งปริมาณไนเตรทลดลงต่ำสุดเหลือ 1.473 มก. ไนโตรเจน/ล. (ภาพที่ 5 และตารางภาคผนวกที่ 3)



ภาพที่ 5 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณไนเตรทเฉลี่ยในน้ำจากการเลี้ยงปลาทองที่ใส่สาหร่ายหางกระรอก สาหร่ายพุงชะโด และสาหร่ายข้าวเหนียวความหนาแน่น 2.5 ก./ล. ระยะเวลา 5 วัน

4) ปริมาณออร์โธฟอสเฟตเฉลี่ยเริ่มต้นอยู่ในช่วง 0.256-0.264 มก.ฟอสฟอรัส/ล. หลังจากนั้นลดลงเรื่อย ๆ และลดลงต่ำสุดในวันที่ 5 เหลือ 0.052 มก.ฟอสฟอรัส/ล. ในชุดสาหร่ายข้าวเหนียวโดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับชุดที่รองลงมาคือชุดสาหร่ายพุงชะโด ชุดสาหร่ายหางกระรอก และชุดควบคุมซึ่งปริมาณออร์โธฟอสเฟตลดลงต่ำสุด โดยลดลงเหลือ 0.074, 0.080 และ 0.105 มก.ฟอสฟอรัส/ล. ตามลำดับ (ภาพที่ 6 และตารางภาคผนวกที่ 4)

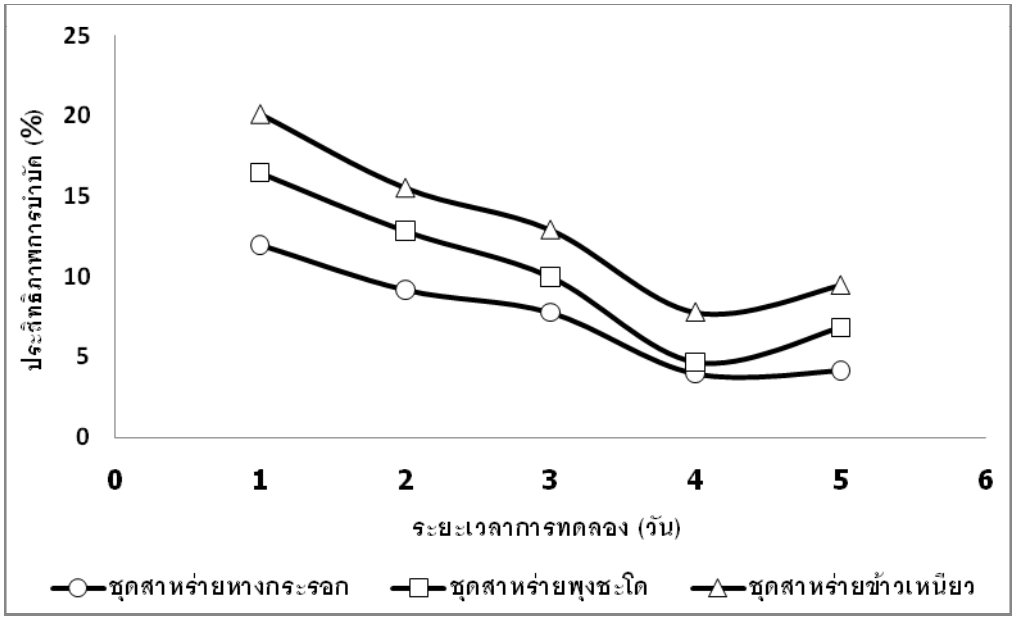


ภาพที่ 6 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณออร์โธฟอสเฟตเฉลี่ยในน้ำจากการเลี้ยงปลาทองที่ใส่สาหร่ายหางกระรอก สาหร่ายพุงชะโด และสาหร่ายข้าวเหนียวความหนาแน่น 2.5 ก./ล. ระยะเวลา 5 วัน

3.1.2 ประสิทธิภาพการบำบัดธาตุอาหารของพืชน้ำ

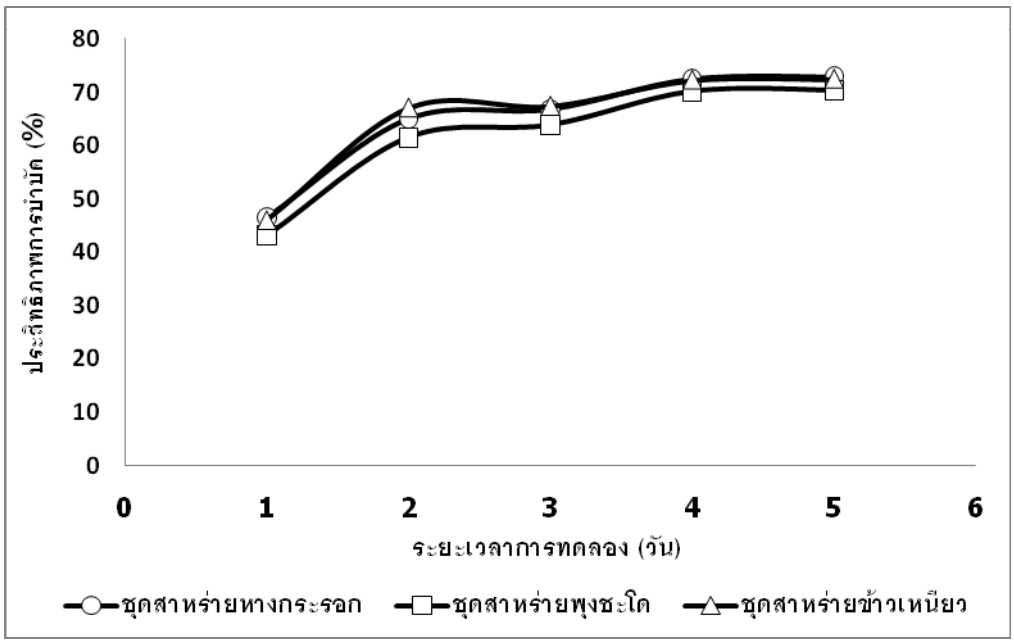
จากการทดลองพบว่าพืชน้ำสามารถบำบัดธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส เมื่อพิจารณาจากความหนาแน่นระดับเดียวกันคือ 2.5 ก./ล. และช่วงเวลาที่สามารถบำบัดได้สูงสุด ดังนี้

1) แอมโมเนียรวม โดยชุดสาหร่ายข้าวเหนียวในวันที่ 1 สามารถบำบัดได้สูงสุด 20.13 % ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับชุดสาหร่ายหางกระรอก และชุดสาหร่ายพุงชะโดที่สามารถบำบัดได้ 11.98 % และ 16.47 % ตามลำดับ หลังจากวันที่ 1 พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดของทั้ง 3 ชุดการทดลองมีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ จนสิ้นสุดการทดลอง (ภาพที่ 7 และตารางภาคผนวกที่ 5)



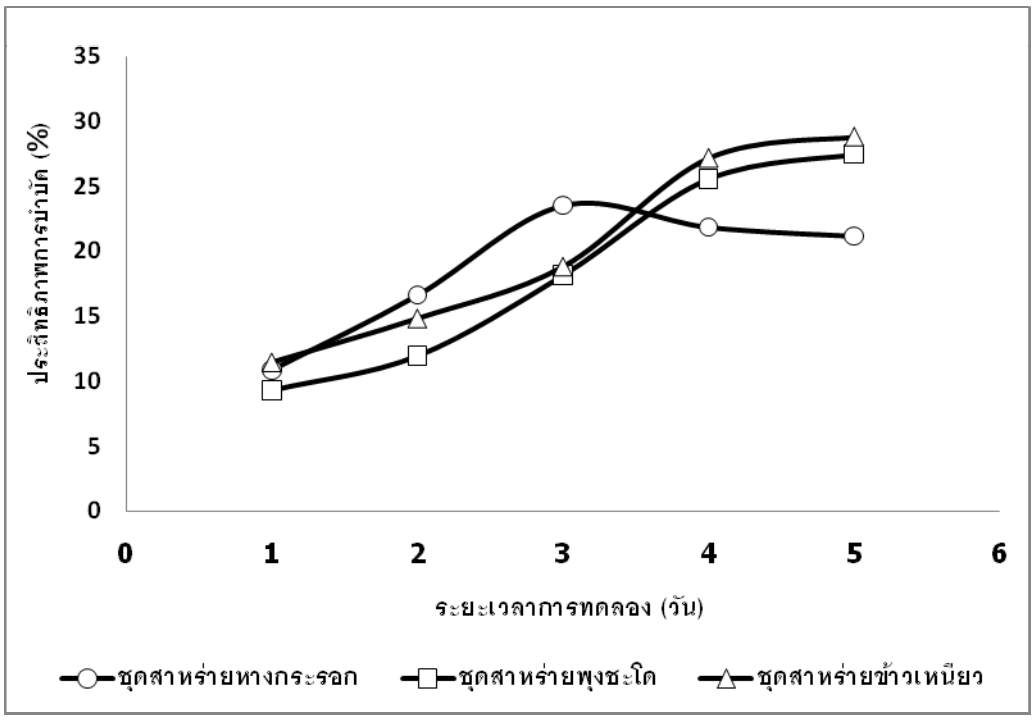
ภาพที่ 7 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียรวมโดยสาหร่ายหางกระรอก สาหร่ายพุงชะโด และสาหร่ายข้าวเหนียวที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่น 2.5 ก./ล. เป็นระยะเวลา 5 วัน ในน้ำจากการเลี้ยงปลาทอง

2) ไนไตรท์ ประสิทธิภาพการบำบัดไนไตรท์ของพืชน้ำทั้ง 3 ชนิด มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ จนสิ้นสุดการทดลอง โดยชุดสาหร่ายหางกระรอกสามารถบำบัดได้สูงสุด 72.96 % ในวันที่ 5 ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับชุดสาหร่ายข้าวเหนียวที่สามารถบำบัดได้ 72.46 % และชุดสาหร่ายพุงชะโดที่สามารถบำบัดได้ 70.32 % ทั้งนี้ประสิทธิภาพการบำบัดของทั้ง 3 ชุดการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในวันที่ 2, 3 และ 4 (ภาพที่ 8 และตารางภาคผนวกที่ 6)



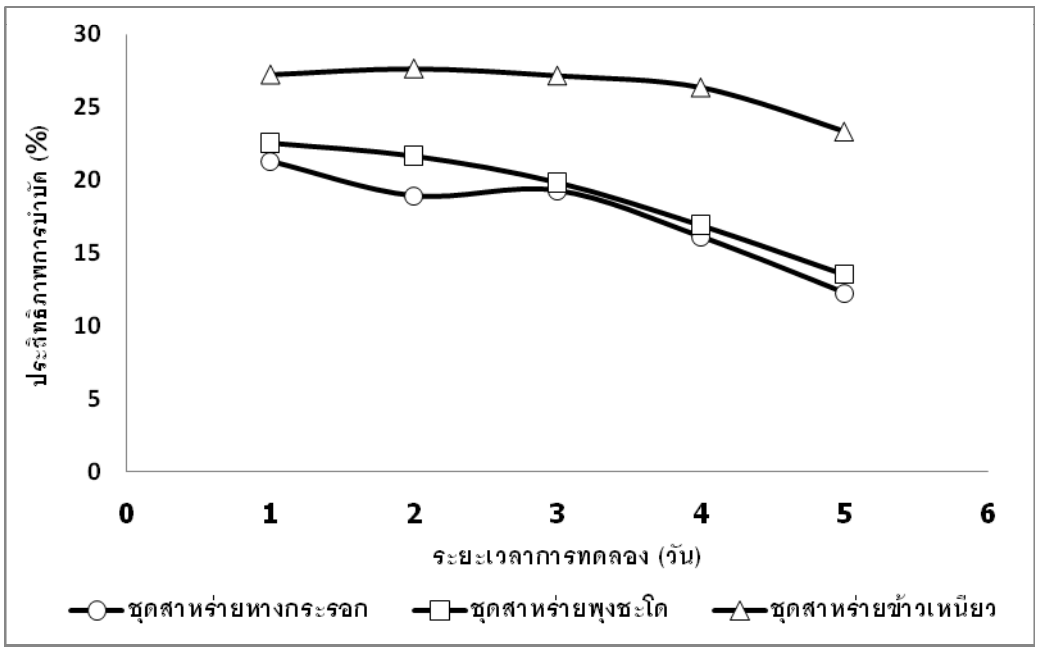
ภาพที่ 8 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดไนไตรท์โดยสาหร่ายหางกระรอก สาหร่ายพุงชะโด และสาหร่ายข้าวเหนียวที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่น 2.5 ก./ล. เป็นระยะเวลา 5 วัน ในน้ำจากการเลี้ยงปลาทอง

3) ไนเตรท โดยชุดสาหร่ายข้าวเหนียวสามารถบำบัดได้สูงสุด 28.78 % ในวันที่ 5 ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับชุดที่รองลงมาคือชุดสาหร่ายพุงชะโด ซึ่งบำบัดได้ 27.46 % ส่วนชุดสาหร่ายหางกระรอกบำบัดได้สูงสุด 23.53 % ในวันที่ 3 โดยประสิทธิภาพการบำบัดมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ จนสิ้นสุดการทดลองยกเว้นชุดสาหร่ายหางกระรอกซึ่งประสิทธิภาพการบำบัดมีแนวโน้มลดลงหรือทรงตัวหลังวันที่ 3 (ภาพที่ 9 และตารางภาคผนวกที่ 7)



ภาพที่ 9 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรทโดยสาหร่ายหางกระรอก สาหร่ายพุงชะโด และสาหร่ายข้าวเหนียวที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่น 2.5 ก./ล. เป็นระยะเวลา 5 วัน ในน้ำจากการเลี้ยงปลาทอง

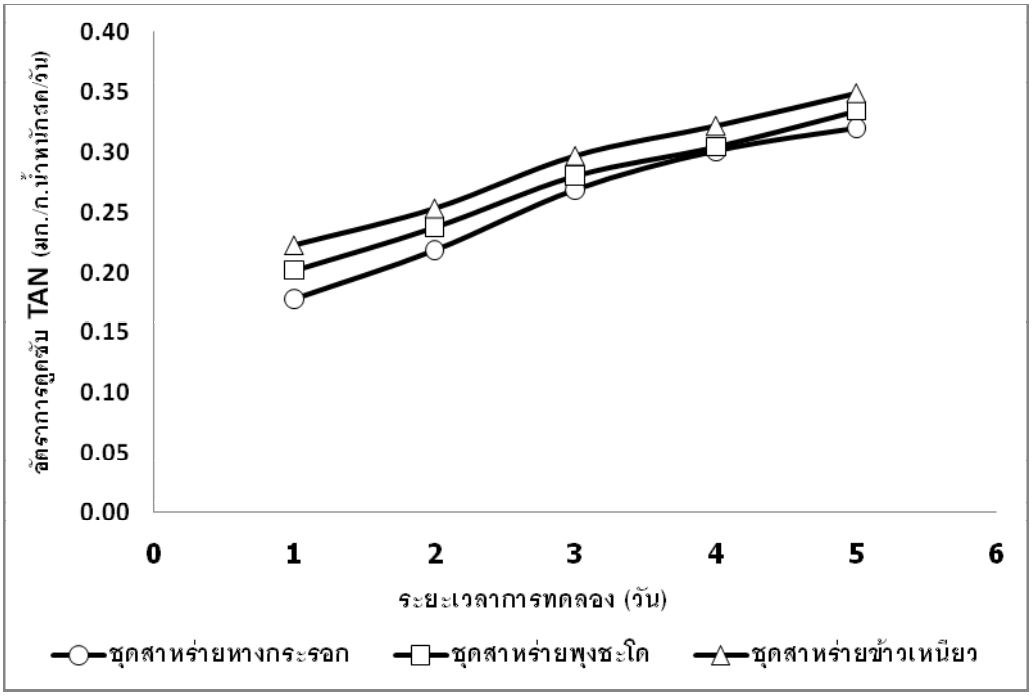
4) ออร์โธฟอสเฟต ประสิทธิภาพการบำบัดมีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ หลังวันที่ 1 โดยชุดสาหร่ายข้าวเหนียวสามารถบำบัดได้สูงสุด 27.62 % ในวันที่ 2 ชุดที่รองลงมาคือชุดสาหร่ายพุงชะโดซึ่งบำบัดได้สูงสุด 22.54 % และชุดสาหร่ายหางกระรอกซึ่งบำบัดได้สูงสุด 21.28 % ในวันที่ 1 ทั้งนี้ประสิทธิภาพการบำบัดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ระหว่างชุดการทดลองตลอดระยะเวลาการทดลอง (ภาพที่ 10 และตารางภาคผนวกที่ 8)



ภาพที่ 10 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดออร์โธฟอสเฟตโดยสาหร่ายหางกระรอก สาหร่ายพุงชะโด และสาหร่ายข้าวเหนียวที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่น 2.5 ก./ล. เป็นระยะเวลา 5 วัน ในน้ำจากการเลี้ยงปลาทอง

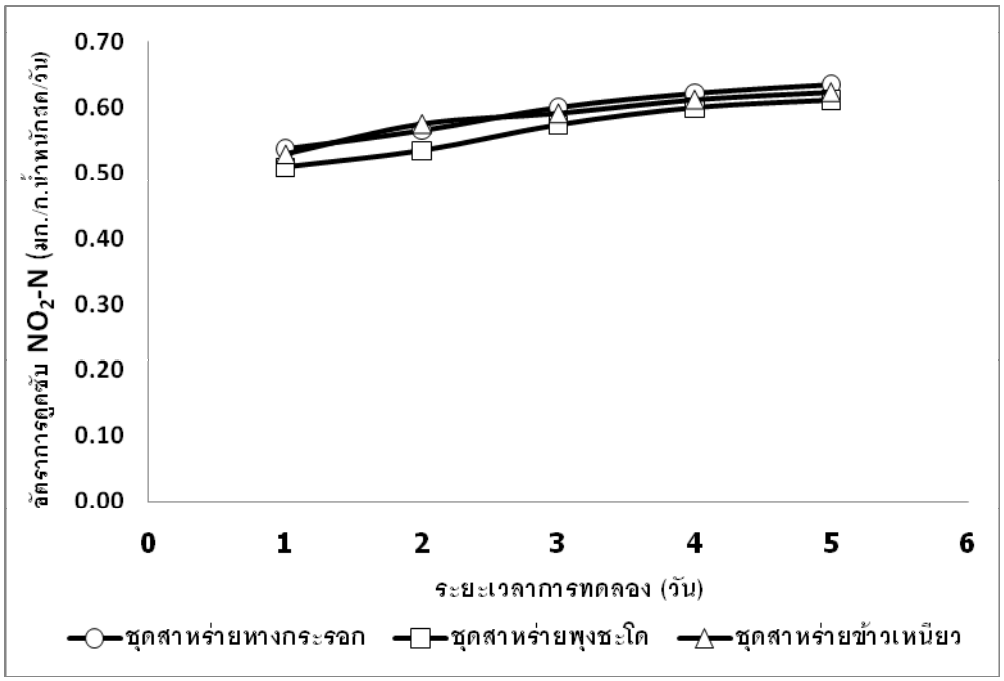
3.1.3 อัตราการดูดซับธาตุอาหารของพืชน้ำ

1) แอมโมเนียรวม สาหร่ายข้าวเหนียวมีอัตราการดูดซับแอมโมเนียรวมสูงสุด 0.349 มก./ก.น้ำหนักสด/วัน ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับชุดที่รองลงมาคือชุดสาหร่ายพุงชะโด (0.334 มก./ก.น้ำหนักสด/วัน) และชุดสาหร่ายหางกระรอก (0.320 มก./ก.น้ำหนักสด/วัน) ในวันที่ 5 โดยอัตราการดูดซับมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ ตามระยะเวลาการทดลอง และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ระหว่างชุดการทดลองตั้งแต่วันที่ 1 จนสิ้นสุดการทดลอง (ภาพที่ 11 และตารางภาคผนวกที่ 9)



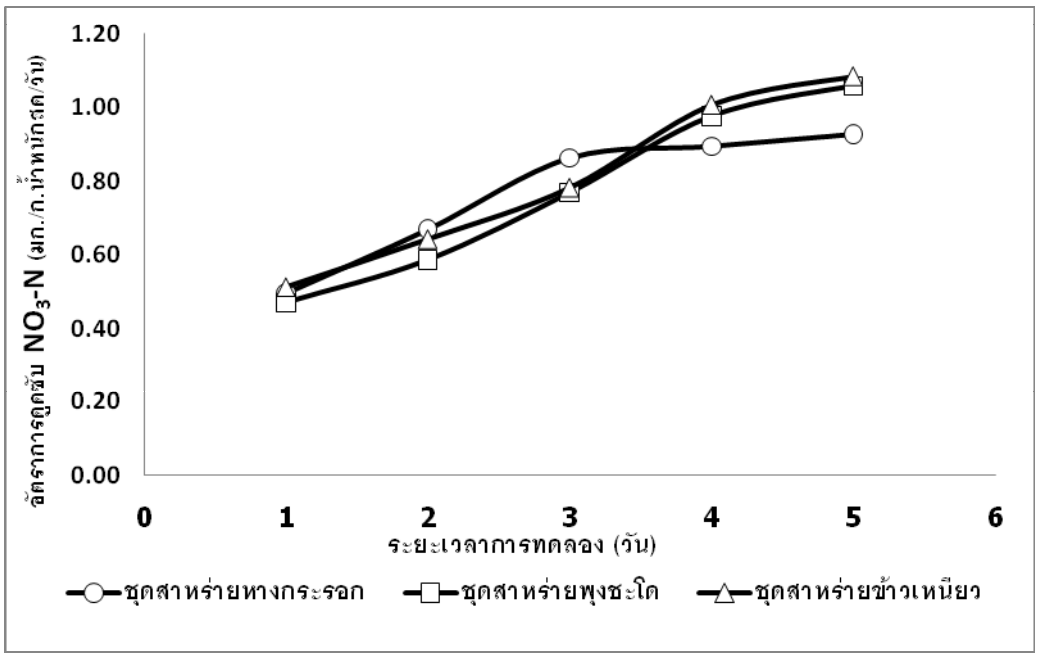
ภาพที่ 11 ค่าเฉลี่ยอัตราการดูดซับแอมโมเนียรวมโดยสาหร่ายหางกระรอก สาหร่ายพุงชะโด และสาหร่ายข้าวเหนียวที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่น 2.5 ก./ล. เป็นระยะเวลา 5 วัน ในน้ำจากการเลี้ยงปลาทอง

2) ไนไตรท์ สาหร่ายหางกระรอกมีอัตราการดูดซับไนไตรท์สูงสุด 0.635 มก./ก.น้ำหนักสด/วัน ในวันที่ 5 ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับชุดที่รองลงมาคือชุดสาหร่ายข้าวเหนียว (0.624 มก./ก.น้ำหนักสด/วัน) และชุดสาหร่ายพุงชะโด (0.612 มก./ก.น้ำหนักสด/วัน) โดยอัตราการดูดซับไนไตรท์มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ ตามระยะเวลาการทดลอง และไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ระหว่างชุดการทดลองตลอดระยะเวลาการทดลอง (ภาพที่ 12 และตารางภาคผนวกที่ 10)



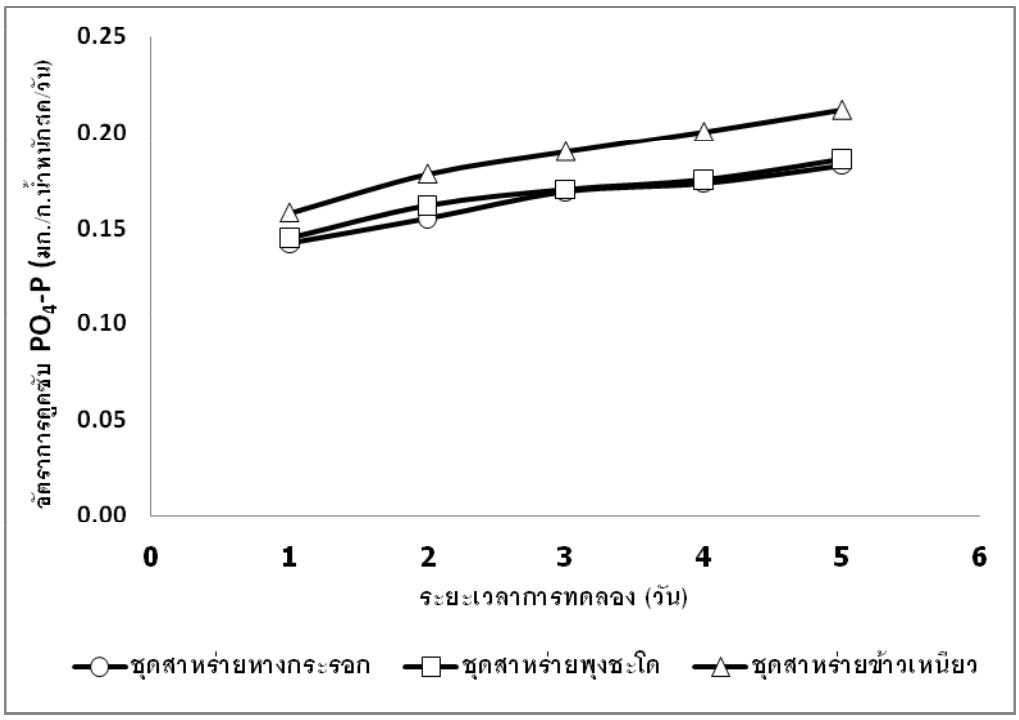
ภาพที่ 12 ค่าเฉลี่ยอัตราการดูดซับไนไตรท์โดยสาหร่ายหางกระรอก สาหร่ายพุงชะโด และสาหร่ายข้าวเหนียวที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่น 2.5 ก./ล. เป็นระยะเวลา 5 วัน ในน้ำจากการเลี้ยงปลาทอง

3) ไนเตรท สาหร่ายข้าวเหนียวมีอัตราการดูดซับไนเตรทสูงสุด (1.085 มก./ก. น้ำหนักสด/วัน) โดยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับชุดที่รองลงมาคือสาหร่ายพุงชะโด (1.058 มก./ก.น้ำหนักสด/วัน) แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับชุดสาหร่ายหางกระรอก (0.928 มก./ก.น้ำหนักสด/วัน) ในวันที่ 5 โดยอัตราการดูดซับไนเตรทมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ ตลอดเวลาการทดลอง ซึ่งทั้ง 3 ชุดการทดลองอัตราการดูดซับไนเตรทมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ตั้งแต่วันที่ 4 (ภาพที่13 และตารางภาคผนวกที่ 11)



ภาพที่ 13 ค่าเฉลี่ยอัตราการดูดซับไนเตรทโดยสาหร่ายหางกระรอก สาหร่ายพุงชะโด และสาหร่ายข้าวเหนียวที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่น 2.5 ก./ล. เป็นระยะเวลา 5 วัน ในน้ำจากการเลี้ยงปลาทอง

4) ออร์โธฟอสเฟต สาหร่ายข้าวเหนียวมีอัตราการดูดซับออร์โธฟอสเฟตสูงสุด (0.212 มก./ก.น้ำหนักสด/วัน) โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับชุดที่รองลงมาคือชุดสาหร่ายพุงชะโด (0.186 มก./ก.น้ำหนักสด/วัน) และชุดสาหร่ายหางกระรอก (0.183 มก./ก.น้ำหนักสด/วัน) ในวันที่ 5 โดยอัตราการดูดซับออร์โธฟอสเฟตมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ ตลอดเวลาการทดลอง และอัตราการดูดซับออร์โธฟอสเฟตมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ระหว่างชุดการทดลองตั้งแต่วันที่ 1 จนสิ้นสุดการทดลอง (ภาพที่ 14 และตารางภาคผนวกที่ 12)



ภาพที่ 14 ค่าเฉลี่ยอัตราการดูดซับออร์โธฟอสเฟตโดยสาหร่ายหางกระรอก สาหร่ายพุงชะโด และสาหร่ายข้าวเหนียวที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่น 2.5 ก./ล. เป็นระยะเวลา 5 วัน ในน้ำจากการเลี้ยงปลาทอง

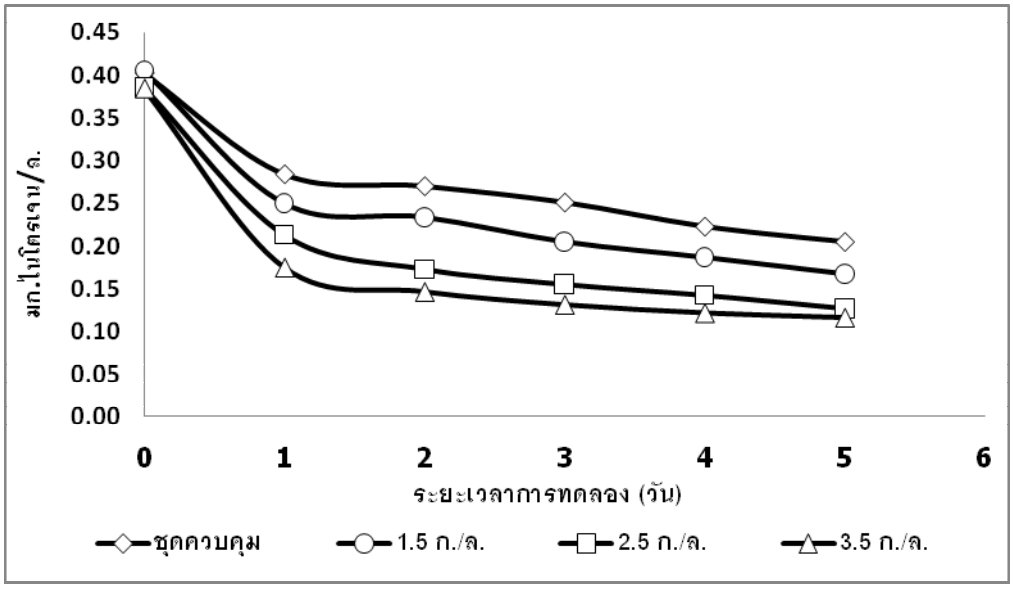
3.2 ศึกษาอัตราการดูดซับธาตุอาหารไนโตรเจน และฟอสฟอรัสของสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 3 ระดับในน้ำจากการเลี้ยงปลาทอง

จากการทดลองศึกษาอัตราการดูดซับธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของสาหร่ายหางกระรอก สาหร่ายพุงชะโด และสาหร่ายข้าวเหนียวในน้ำจากการเลี้ยงปลาทองพบว่าสาหร่ายข้าวเหนียวมีประสิทธิภาพในการบำบัด แอมโมเนียรวม ไนเตรท และ ออร์โธฟอสเฟตได้ดีที่สุด คือ 20.13 %, 28.78 % และ 27.62 % ตามลำดับ อีกทั้งยังมีอัตราการดูดซับแอมโมเนียรวม ไนเตรท และออร์โธฟอสเฟตได้ดีที่สุด คือ 0.349, 1.085 และ 0.212 มก./ก.น้ำหนักสด/วัน

เนื่องจากสาหร่ายข้าวเหนียวมีประสิทธิภาพมากที่สุดในการดูดซับไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจึงได้นำสาหร่ายข้าวเหนียวมาเลี้ยงที่ความหนาแน่น 3 ระดับ ได้แก่ 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. และชุดควบคุม (ไม่มีการใส่พืชน้ำ) เลี้ยงในน้ำจากการเลี้ยงปลาทองที่อัตราความหนาแน่น 1 ตัว/ปริมาตรน้ำ 3 ล. ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเมื่อเริ่มต้นการทดลองและทุกวันจนครบ 5 วัน โดยผลจากการศึกษามีดังนี้

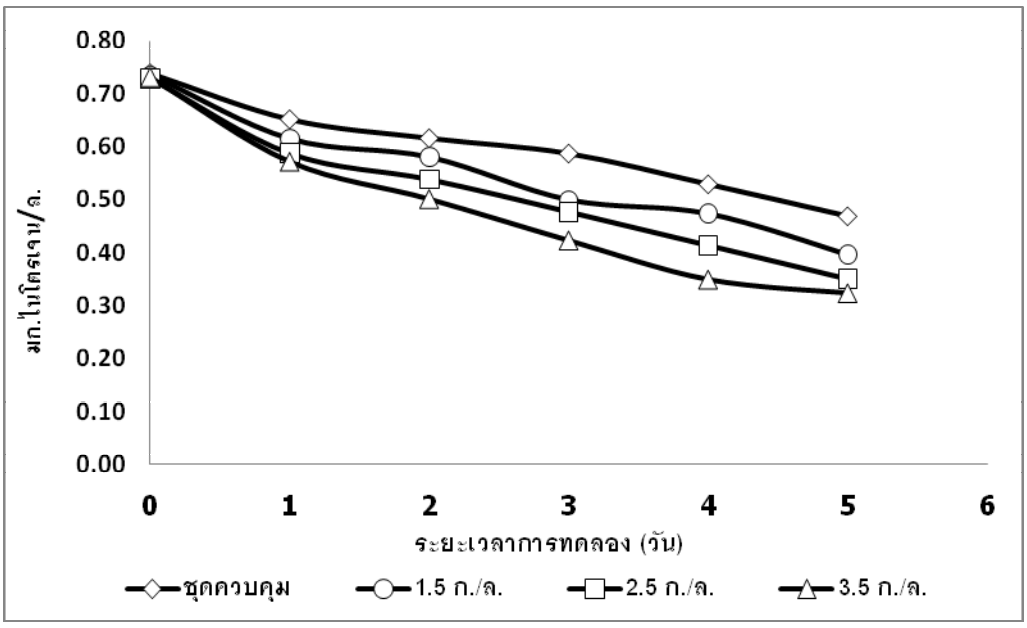
3.2.1 การเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหารในน้ำ

1) ปริมาณแอมโมเนียรวมเฉลี่ยเริ่มต้นอยู่ในช่วง 0.384-0.406 มก. ไนโตรเจน/ล. หลังจากนั้นปริมาณแอมโมเนียรวมลดลงเรื่อย ๆ ตลอดการทดลอง และลดลงต่ำสุดในวันที่ 5 เหลือ 0.117 มก.ไนโตรเจน/ล. ที่ความหนาแน่นของสาหร่ายข้าวเหนียว 3.5 ก./ล. โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับชุดที่รองลงมาคือที่ความหนาแน่นของสาหร่ายข้าวเหนียว 2.5, 1.5 ก./ล. และชุดควบคุม ซึ่งลดลงเหลือ 0.127, 0.168 และ 0.205 มก. ไนโตรเจน/ล. ตามลำดับ (ภาพที่ 15 และตารางภาคผนวกที่ 13)



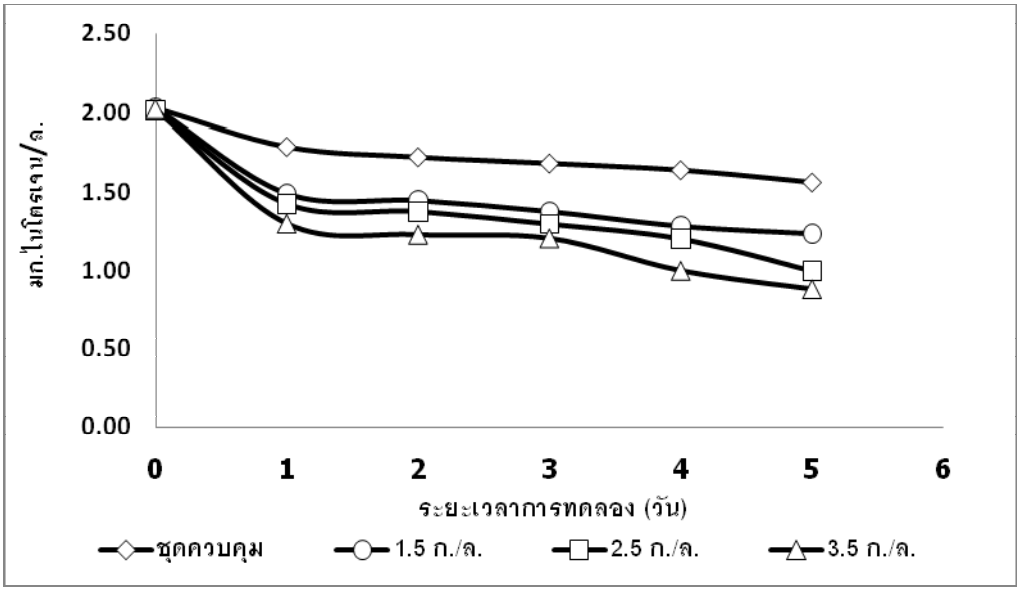
ภาพที่ 15 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณแอมโมเนียรวมเฉลี่ยในน้ำจากการเลี้ยงปลาทองที่ใส่สาหร่ายข้าวเหนียวด้วยความหนาแน่น 0, 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. เป็นระยะเวลา 5 วัน

2) ปริมาณไนไตรท์เฉลี่ยเริ่มต้นอยู่ในช่วง 0.728-0.738 มก.ไนโตรเจน/ล. หลังจากนั้นปริมาณไนไตรท์ลดลงเรื่อย ๆ ตลอดการทดลอง และลดลงต่ำสุดในวันที่ 5 เหลือ 0.324 มก. ไนโตรเจน/ล. ที่สาหร่ายข้าวเหนียวความหนาแน่น 3.5 ก./ล. โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับชุดที่รองลงมาคือสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 2.5, 1.5 ก./ล. และชุดควบคุม ซึ่งลดลงเหลือ 0.350, 0.396 และ 0.468 มก.ไนโตรเจน/ล. ตามลำดับ (ภาพที่ 16 และตารางภาคผนวกที่ 14)



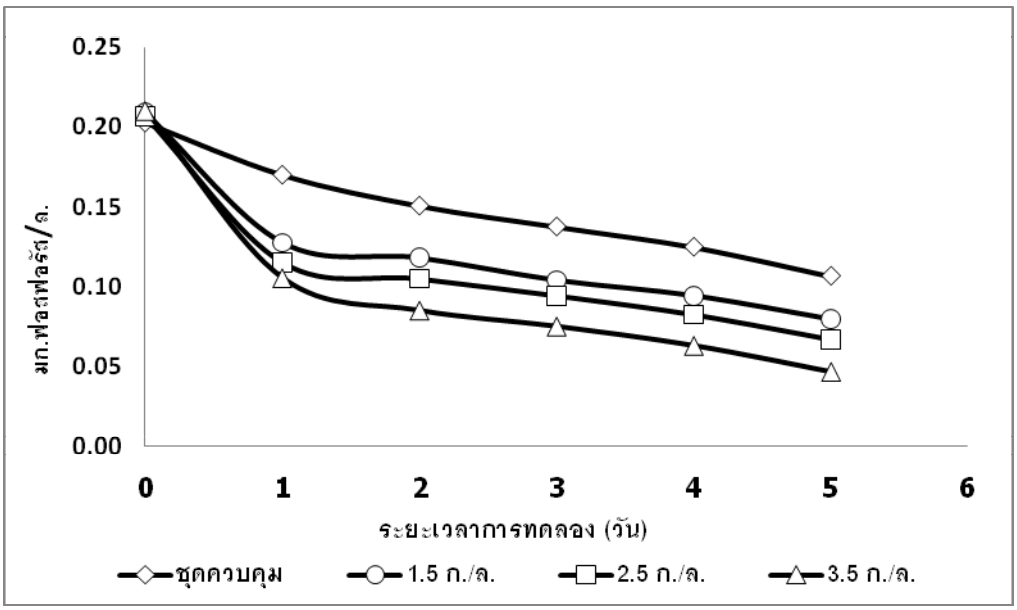
ภาพที่ 16 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณไนไตรท์เฉลี่ยในน้ำจากการเลี้ยงปลาทองที่ใส่สาหร่ายข้าวเหนียวด้วยความหนาแน่น 0, 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. เป็นระยะเวลา 5 วัน

3) ปริมาณไนเตรทเฉลี่ยเริ่มต้นอยู่ในช่วง 2.011-2.030 มก.ไนโตรเจน/ล. หลังจากนั้นปริมาณไนเตรทลดลงเรื่อย ๆ ตลอดการทดลอง และลดลงต่ำสุดในวันที่ 5 เหลือ 0.880 มก.ไนโตรเจน/ล. ที่ความหนาแน่นของสาหร่ายข้าวเหนียว 3.5 ก./ล. โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับชุดที่รองลงมาคือสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 2.5, 1.5 ก./ล. และชุดควบคุม ซึ่งลดลงเหลือ 0.997, 1.236 และ 1.560 มก.ไนโตรเจน/ล. ตามลำดับ (ภาพที่ 17 และตารางภาคผนวกที่ 15)



ภาพที่ 17 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณไนเตรทเฉลี่ยในน้ำจากการเลี้ยงปลาทองที่ใส่สาหร่ายข้าวเหนียวด้วยความหนาแน่น 0, 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. เป็นระยะเวลา 5 วัน

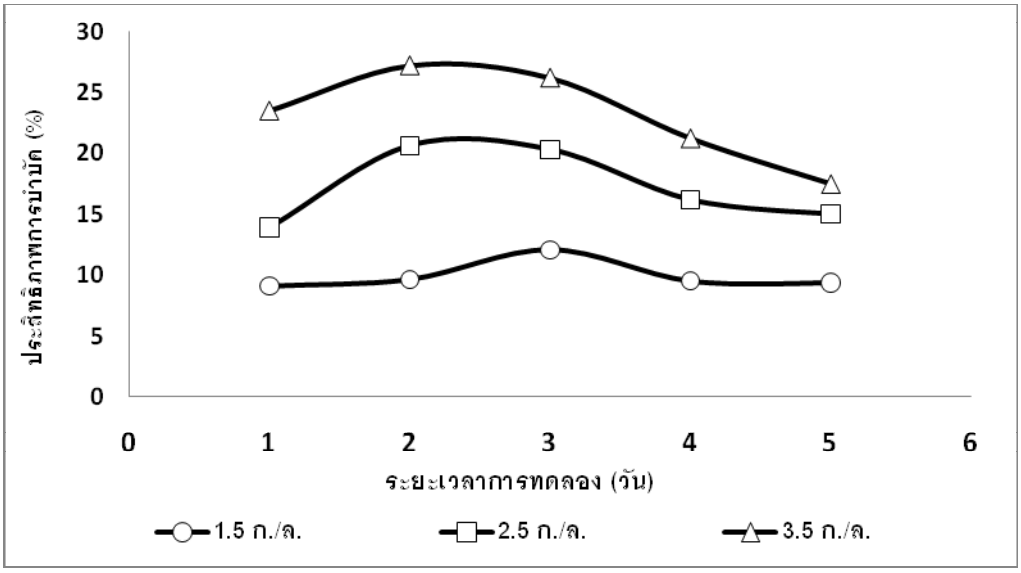
4) ปริมาณออร์โธฟอสเฟตเฉลี่ยเริ่มต้นอยู่ในช่วง 0.203-0.210 มก.ฟอสฟอรัส/ล. หลังจากนั้นปริมาณออร์โธฟอสเฟตลดลงเรื่อย ๆ ตลอดการทดลอง และลดลงต่ำสุดในวันที่ 5 เหลือ 0.047 มก. ฟอสฟอรัส/ล. ที่สาหร่ายข้าวเหนียวความหนาแน่น 3. 5 ก./ล. โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับชุดที่รองลงมาคือที่สาหร่ายข้าวเหนียวความหนาแน่น 2.5, 1.5 ก./ล. และชุดควบคุม ซึ่งลดลงเหลือ 0.067, 0.080 และ 0.107 มก.ฟอสฟอรัส/ล. ตามลำดับ (ภาพที่ 18 และตารางภาคผนวกที่ 16)



ภาพที่ 18 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณออร์โธฟอสเฟตเฉลี่ยในน้ำจากการเลี้ยงปลาทองที่ใส่สาหร่ายข้าวเหนียวด้วยความหนาแน่น 0, 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. เป็นระยะเวลา 5 วัน

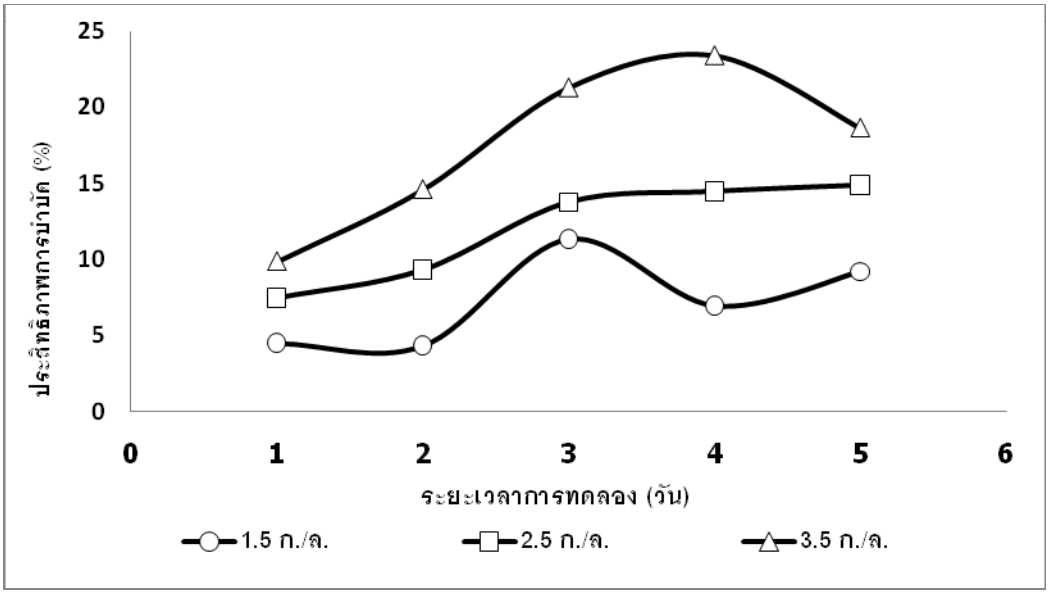
3.2.2 ประสิทธิภาพการบำบัดธาตุอาหารของสาหร่ายข้าวเหนียว

1) แอมโมเนียรวม สาหร่ายข้าวเหนียวความหนาแน่น 3.5 ก./ล. สามารถบำบัดได้สูงสุด 27.21 % ในวันที่ 2 ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับชุดสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 1.5 และ 2.5 ก./ล. โดยที่ความหนาแน่น 1.5 ก./ล. สามารถบำบัดได้สูงสุด 12.08 % และที่ความหนาแน่น 2.5 ก./ล. สามารถบำบัดได้สูงสุด 20.63 % โดยประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียรวมของสาหร่ายข้าวเหนียวมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ แล้วเริ่มลดลงหลังวันที่ 3 และลดลงเรื่อย ๆ จนสิ้นสุดการทดลอง และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ระหว่างชุดการทดลองตลอดระยะเวลาการทดลอง (ภาพที่ 19 และตารางภาคผนวกที่ 17)



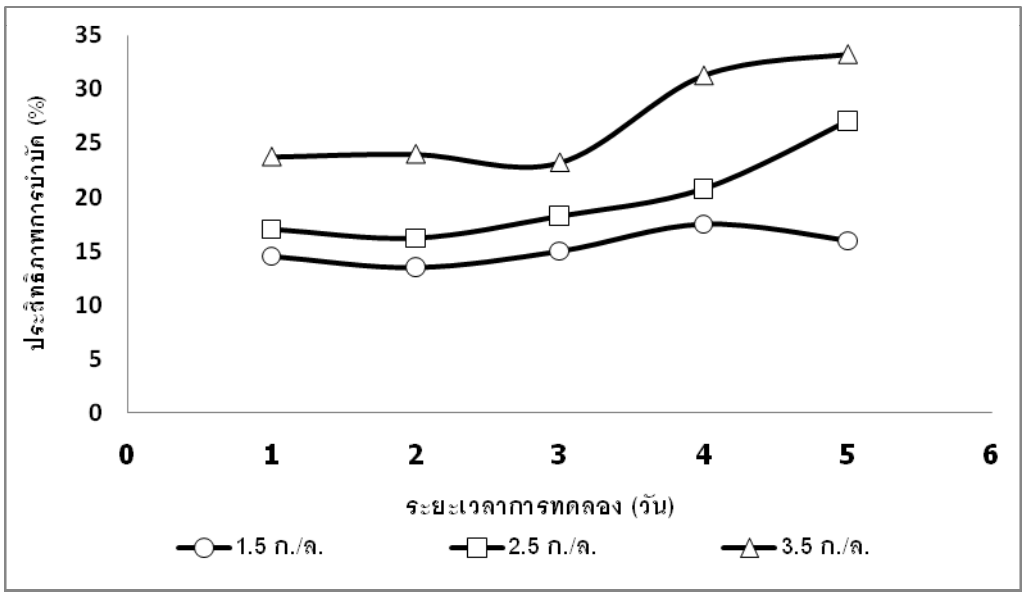
ภาพที่ 19 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียรวมโดยสาหร่ายข้าวเหนียวที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่น 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. เป็นระยะเวลา 5 วัน ในน้ำจากการเลี้ยงปลาทอง

2) ไนไตรท์ สาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่นของ 3.5 ก./ล. สามารถบำบัดได้สูงสุด 23.42 % ในวันที่ 4 ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับชุดที่ความหนาแน่น 1.5 ก./ล. ซึ่งสามารถบำบัดได้สูงสุด 11.32 % ในวันที่ 3 และที่ความหนาแน่น 2.5 ก./ล. ซึ่งสามารถบำบัดได้สูงสุด 14.86 % ในวันที่ 5 โดยประสิทธิภาพการบำบัดไนไตรท์ของสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 2.5 ก./ล. มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ จนสิ้นสุดการทดลอง ส่วนที่ความหนาแน่น 1.5 และ 3.5 ก./ล. มีแนวโน้มลดลงหลังวันที่ 3 และ 4 ตามลำดับ และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ระหว่างชุดการทดลองตลอดระยะเวลาการทดลอง (ภาพที่ 20 และตารางภาคผนวกที่ 18)



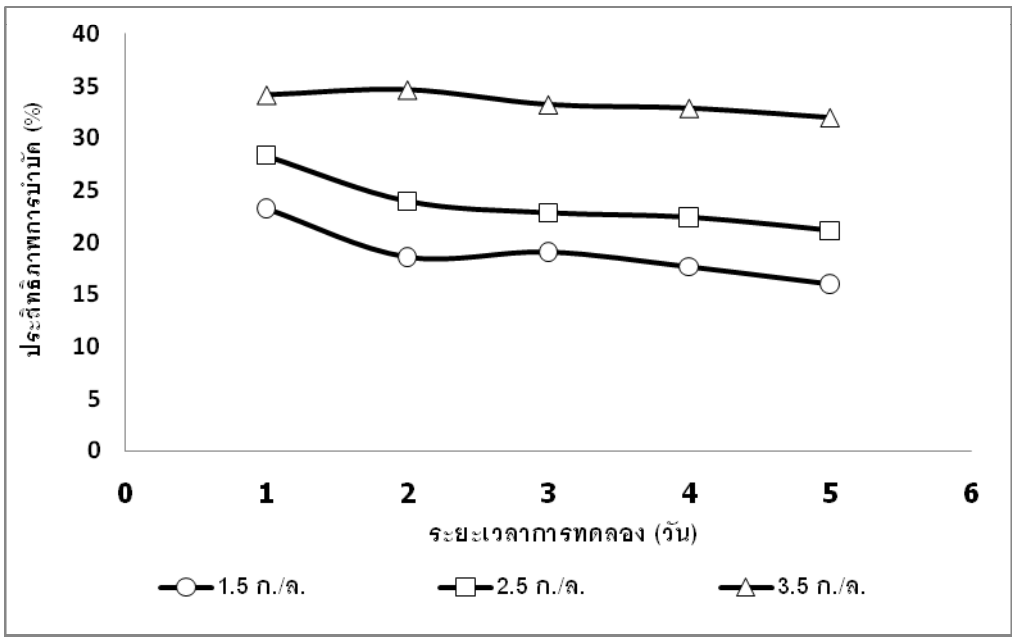
ภาพที่ 20 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดไนไตรท์โดยสาหร่ายข้าวเหนียวที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่น 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. เป็นระยะเวลา 5 วัน ในน้ำจากการเลี้ยงปลาทอง

3) ไนเตรท สาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 3.5 ก./ล. สามารถบำบัดได้สูงสุด 33.24 % ในวันที่ 5 ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับชุดที่ความหนาแน่น 1.5 ก./ล. ซึ่งสามารถบำบัดได้สูงสุด 17.48 % ในวันที่ 4 และที่ความหนาแน่น 2.5 ก./ล. ซึ่งสามารถบำบัดได้สูงสุด 27.05 % ในวันที่ 5 โดยประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรทของสาหร่ายข้าวเหนียวมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ จนสิ้นสุดการทดลอง และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ระหว่างชุดการทดลองตลอดระยะเวลาการทดลอง (ภาพที่ 21 และตารางภาคผนวกที่ 24)



ภาพที่ 21 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรทโดยสาหร่ายข้าวเหนียวที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่น 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. เป็นระยะเวลา 5 วัน ในน้ำจากการเลี้ยงปลาทอง

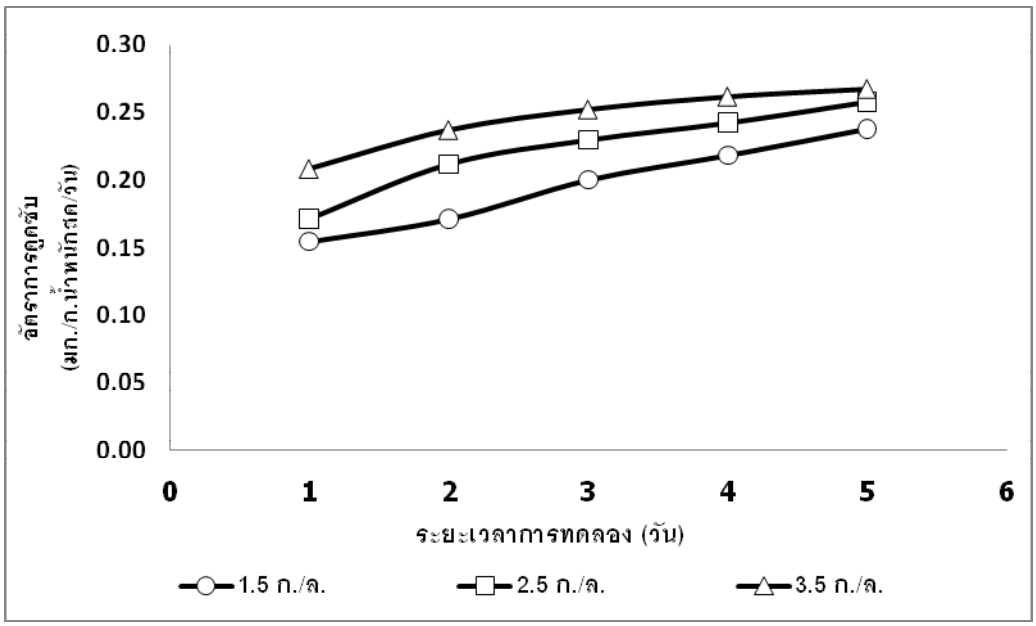
4) ออร์โธฟอสเฟต สาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 3.5 ก./ล. สามารถบำบัดได้สูงสุด 34.64 % ในวันที่ 2 ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับชุดที่ความหนาแน่น 1.5 ก./ล. ซึ่งสามารถบำบัดได้สูงสุด 23.30 % ในวันที่ 1 และที่ความหนาแน่น 2.5 ก./ล. ซึ่งสามารถบำบัดได้สูงสุด 28.36 % ในวันที่ 1 โดยประสิทธิภาพการบำบัดออร์โธฟอสเฟตของสาหร่ายข้าวเหนียวมีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ หลังวันที่ 1 จนสิ้นสุดการทดลอง (ภาพที่ 22 และตารางภาคผนวกที่ 20)



ภาพที่ 22 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดออร์โธฟอสเฟตโดยสาหร่ายข้าวเหนียวที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่น 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. เป็นระยะเวลา 5 วัน ในน้ำจากการเลี้ยงปลาทอง

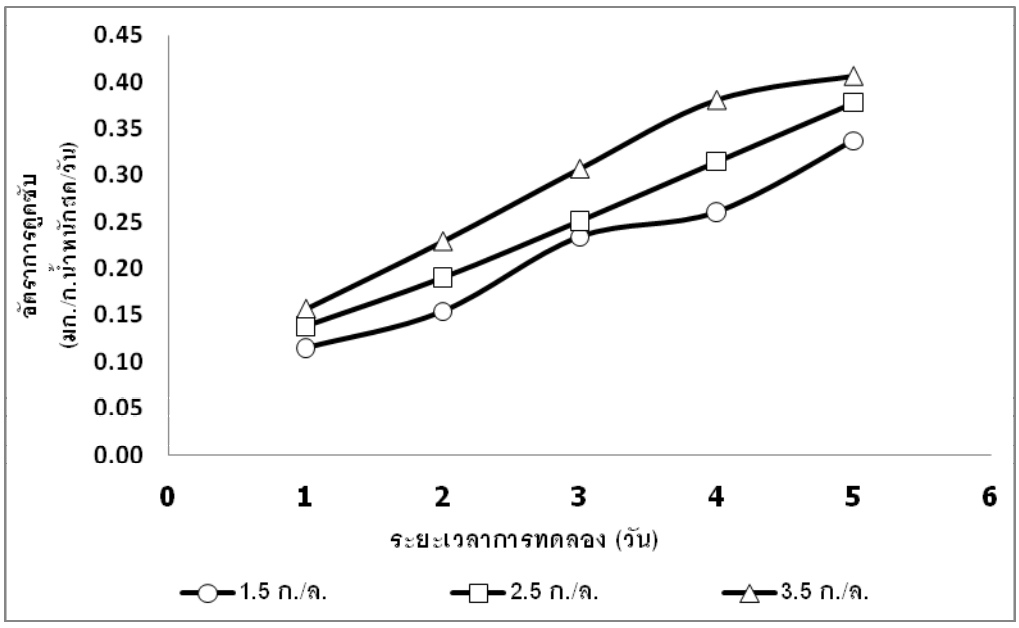
3.2.3 อัตราการดูดซับธาตุอาหารของพืชน้ำ

1) แอมโมเนียรวม สาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 3.5 ก./ล. มีอัตราการดูดซับสูงสุด (0.267 มก./ก.น้ำหนักสด/วัน) โดยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) กับชุดรองลงมาคือที่ความหนาแน่น 2.5 ก./ล. (0.258 มก./ก.น้ำหนักสด/วัน) ในวันที่ 5 แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) กับชุดสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 1.5 ก./ล. (0.238 มก./ก.น้ำหนักสด/วัน) โดยอัตราการดูดซับแอมโมเนียรวมมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ จนสิ้นสุดการทดลอง และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ระหว่างชุดการทดลองตลอดระยะเวลาการทดลอง (ภาพที่ 23 และตารางภาคผนวกที่ 21)



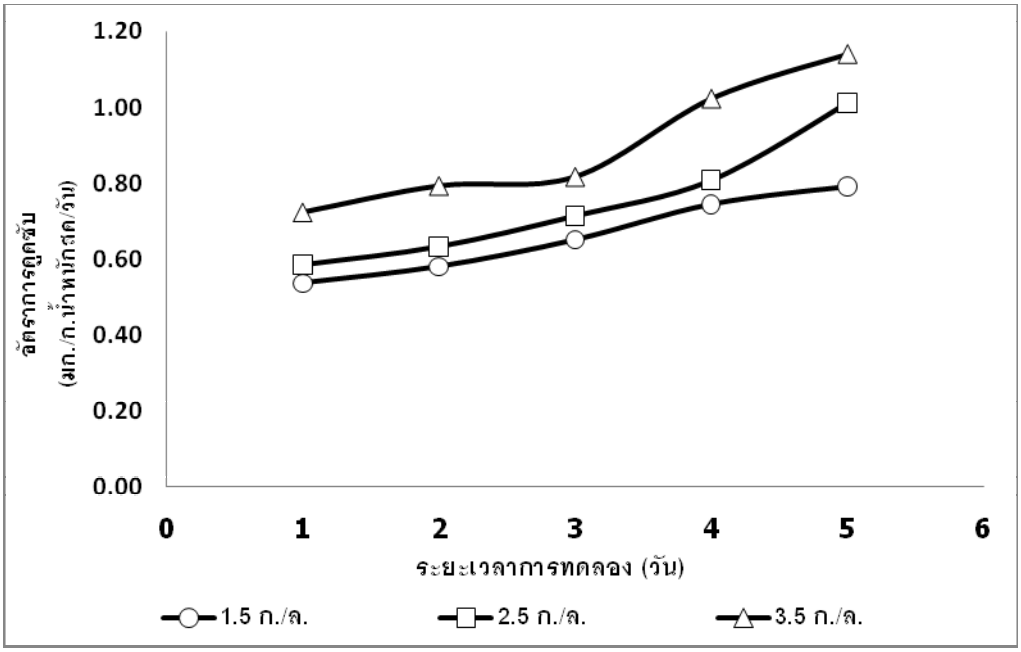
ภาพที่ 23 ค่าเฉลี่ยอัตราการดูดซับแอมโมเนียรวมโดยสาหร่ายข้าวเหนียวที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่น 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. เป็นระยะเวลา 5 วันในน้ำจากการเลี้ยงปลาทอง

2) ไนไตรท์ สาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 3.5 ก./ล. มีอัตราการดูดซับสูงสุด (0.406 มก./ก.น้ำหนักสด/วัน) ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับชุดที่รองลงมาคือที่ความหนาแน่น 2.5 ก./ล. (0.378 มก./ก.น้ำหนักสด/วัน) และที่ความหนาแน่น 1.5 ก./ล. (0.337 มก./ก.น้ำหนักสด/วัน) ในวันที่ 5 โดยอัตราการดูดซับไนไตรท์มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ จนสิ้นสุดการทดลอง และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ระหว่างชุดการทดลองตลอดระยะเวลาการทดลอง (ภาพที่ 24 และตารางภาคผนวกที่ 22)



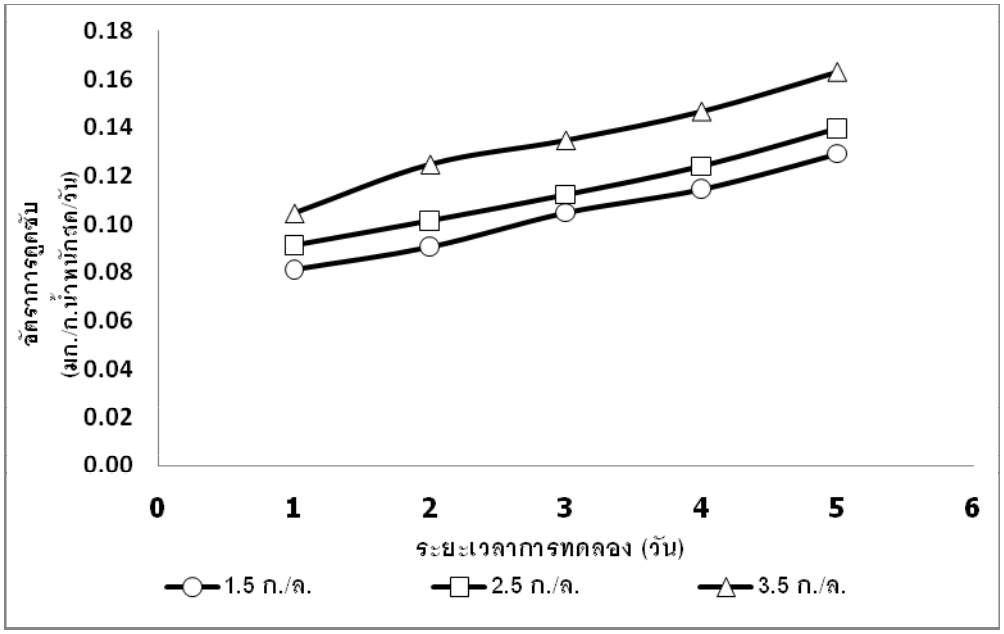
ภาพที่ 24 ค่าเฉลี่ยอัตราการดูดซับไนไตรท์โดยสาหร่ายข้าวเหนียวที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่น 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. เป็นระยะเวลา 5 วันในน้ำจากการเลี้ยงปลาทอง

3) ไนเตรท สาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 3.5 ก./ล. มีอัตราการดูดซับสูงสุด (1.141 มก./ก.น้ำหนักสด/วัน) โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับชุดที่รองลงมาคือที่ความหนาแน่น 2.5 ก./ล. (1.013 มก./ก.น้ำหนักสด/วัน) และที่ความหนาแน่น 1.5 ก./ล. (0.792 มก./ก.น้ำหนักสด/วัน) ในวันที่ 5 โดยอัตราการดูดซับไนเตรทมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ จนสิ้นสุดการทดลอง และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ตลอดระยะเวลาการทดลอง (ภาพที่ 25 และตารางภาคผนวกที่ 23)



ภาพที่ 25 ค่าเฉลี่ยอัตราการดูดซับไนเตรทโดยสาหร่ายข้าวเหนียวที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่น 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. เป็นระยะเวลา 5 วัน ในน้ำจากการเลี้ยงปลาทอง

4) ออร์โธฟอสเฟต สาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 3.5 ก./ล. มีอัตราการดูดซับสูงสุด (0.163 มก./ก.น้ำหนักสด/วัน) โดยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับชุดที่รองลงมาคือที่ความหนาแน่น 2.5 ก./ล. (0.139 มก./ก.น้ำหนักสด/วัน) แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) กับที่ความหนาแน่น 1.5 ก./ล. (0.129 มก./ก.น้ำหนักสด/วัน) ในวันที่ 5 โดยอัตราการดูดซับออร์โธฟอสเฟตมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ จนสิ้นสุดการทดลอง และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ตลอดระยะเวลาการทดลอง (ภาพที่ 26 และตารางภาคผนวกที่ 24)



ภาพที่ 26 ค่าเฉลี่ยอัตราการดูดซับออร์โธฟอสเฟตโดยสาหร่ายข้าวเหนียวที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่น 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. เป็นระยะเวลา 5 วัน ในน้ำจากการเลี้ยงปลาทอง

3.3 การเลี้ยงสาหร่ายข้าวเหนียวร่วมกับปลาทองในระบบปิด

กำหนดชุดการทดลองเป็นแบบ 3×4 Factorial โดยใช้ปลาทองที่ระดับความหนาแน่น 3 ระดับคือ 0.5, 1.0 และ 1.5 ตัว/ปริมาตรน้ำ 3 ล. ปลาทองแต่ละตัวมีน้ำหนักเฉลี่ยประมาณ 2.5 ก. เลี้ยงร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวเนื่องจากในการทดลองศึกษาอัตราการดูดซับธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของสาหร่ายหางกระรอก สาหร่ายพุงชะโด และสาหร่ายข้าวเหนียวในน้ำจากการเลี้ยงปลาทองพบว่าสาหร่ายข้าวเหนียวมีประสิทธิภาพในการบำบัด แอมโมเนียรวม ไนเตรท และออร์โธฟอสเฟตได้ดีที่สุด คือ 20.13 %, 28.78 % และ 27.62 % ตามลำดับ อีกทั้งยังมีอัตราการดูดซับแอมโมเนียรวม ไนเตรท และออร์โธฟอสเฟตได้ดีที่สุด คือ 0.349, 1.085 และ 0.212 มก./ก.น้ำหนักสด/วัน จึงนำสาหร่ายข้าวเหนียวเลี้ยงที่อัตราความหนาแน่น 4 ระดับคือ 0, 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. โดยมีตาข่ายกั้นระหว่างปลาทองกับสาหร่ายข้าวเหนียวพร้อมทั้งมีการใช้เครื่องกรองน้ำแบบติดข้างตู้ ระยะเวลาในการทดลอง 56 วัน

3.3.1 คุณภาพน้ำระหว่างการทดลอง

1) อุณหภูมิเฉลี่ยเริ่มต้นอยู่ในช่วง 25.28-26.85 องศาเซลเซียส โดยช่วงอุณหภูมิตลอดการทดลองต่ำสุดคือ 24.00 องศาเซลเซียส ที่ชุดการทดลองปลาทองความหนาแน่น 1.5 ตัว/น้ำ 3 ล. เลี้ยงร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 3.5 ก./ล. และอุณหภูมิสูงสุดคือ 29.00 องศาเซลเซียส ที่ชุดการทดลองปลาทองความหนาแน่น 0.5 และ 1.0 ตัว/น้ำ 3 ล. ไม่มีการใส่สาหร่ายข้าวเหนียว และชุดการทดลองปลาทองความหนาแน่น 1.5 ตัว/น้ำ 3 ล. เลี้ยงร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 1.5 ก./ล. โดยมีแนวโน้มว่าชุดการทดลองที่มีสาหร่ายข้าวเหนียวหนาแน่นมากขึ้นอุณหภูมิจะต่ำลง (ตารางภาคผนวกที่ 25)

2) ออกซิเจนละลายเฉลี่ยเริ่มต้นอยู่ในช่วง 6.45-7.54 มก./ล. หลังจากนั้นในช่วง 25 วันแรกปริมาณออกซิเจนละลายมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น หลังจากนั้นมีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ จนสิ้นสุดการทดลอง โดยชุดการทดลองปลาทองความหนาแน่น 1 ตัว/น้ำ 3 ล. เลี้ยงร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 3.5 ก./ล. มีค่าออกซิเจนละลายมากที่สุดคือ 7.77 ก./ล. ในวันที่ 20 โดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับชุดการทดลองปลาทองความหนาแน่น 0.5 ตัว/น้ำ 3 ล. เลี้ยงร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 3.5 ก./ล. และชุดการทดลองปลาทองความหนาแน่น 1 ตัว/น้ำ 3 ล. เลี้ยงร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 1.5 และ 2.5 ก./ล. คือ 7.67, 7.57 และ 7.70 มก./ล. ตามลำดับ และชุดการทดลองปลาทองความหนาแน่น 1.5 ตัว/น้ำ 3 ล. ไม่มีสาหร่ายข้าวเหนียวมีค่าน้อยที่สุดคือ 5.20 มก./ล. ในวันที่ 55 ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับชุดการทดลองอื่น (ตารางภาคผนวกที่ 26)

3) ความเป็นด่างเฉลี่ยเริ่มต้นอยู่ในช่วง 70.04-73.98 มก./ล. ในช่วง 35 วันแรกชุดการทดลองที่ไม่มีสาหร่ายข้าวเหนียวค่าความเป็นด่างมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเล็กน้อย หลังจากนั้นมีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ จนสิ้นสุดการทดลอง ส่วนชุดการทดลองที่มีการใส่สาหร่ายข้าวเหนียวค่าความเป็นด่างมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงแคบ ๆ เพิ่มขึ้นและลดลงเล็กน้อยตลอดการทดลอง โดยชุดการทดลองปลาทองความหนาแน่น 0.5 ตัว/น้ำ 3 ล. ไม่มีการใส่สาหร่ายข้าวเหนียวมีค่าความเป็นด่างน้อยที่สุดคือ 66.86 มก./ล. ในวันที่ 55 โดยแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับชุดการทดลองปลาทองอื่น ส่วนชุดการทดลองปลาทองความหนาแน่น 1 ตัว/น้ำ 3 ล. เลี้ยงร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 3.5 ก./ล. มีค่าความเป็นด่างมากที่สุดคือ 84.02 มก./ล. ในวันที่ 55 โดยไม่

มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับชุดการทดลองปลาทองความหนาแน่นเท่ากัน แต่มีการใส่สาหร่ายข้าวเหนียว 2.5 ก./ล. (ตารางภาคผนวกที่ 27)

4) ปริมาณแอมโมเนียรวมเฉลี่ยเริ่มต้นอยู่ในช่วง 0.327-0.685 มก. ไนโตรเจน/ล. หลังจากนั้นมีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ จนสิ้นสุดการทดลอง โดยชุดการทดลองปลาทองความหนาแน่น 0.5 ตัว/น้ำ 3 ล. เลี้ยงร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 3.5 ก./ล. มีปริมาณแอมโมเนียลดลงต่ำสุดในวันที่ 55 เหลือ 0.033 มก.ไนโตรเจน/ล. โดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับชุดการทดลองที่รองลงมาคือปลาทองความหนาแน่น 0.5 ตัว/น้ำ 3 ล. เลี้ยงร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 2.5 ก./ล. และชุดการทดลองปลาทองความหนาแน่น 1 ตัว/น้ำ 3 ล. เลี้ยงร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 3.5 ก./ล. ซึ่งลดลงเหลือ 0.064 และ 0.076 มก.ไนโตรเจน/ล. ตามลำดับ (ตารางภาคผนวกที่ 28)

5) ปริมาณไนไตรท์เฉลี่ยเริ่มต้นอยู่ในช่วง 0.601-1.270 มก.ไนโตรเจน/ล. หลังจากนั้นมีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ จนสิ้นสุดการทดลอง โดยชุดการทดลองปลาทองความหนาแน่น 0.5 ตัว/น้ำ 3 ล. เลี้ยงร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 3.5 ก./ล. มีปริมาณไนไตรท์ลดลงต่ำสุดในวันที่ 55 เหลือ 0.114 มก.ไนโตรเจน/ล. โดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับชุดการทดลองที่รองลงมาคือปลาทองความหนาแน่น 0.5 ตัว/น้ำ 3 ล. เลี้ยงร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 2.5 ก./ล. และ 1.5 ก./ล. ซึ่งลดลงเหลือ 0.121 และ 0.154 มก.ไนโตรเจน/ล. ตามลำดับ(ตารางภาคผนวกที่ 29)

6) ปริมาณไนเตรทเฉลี่ยเริ่มต้นอยู่ในช่วง 1.468-2.774 มก.ไนโตรเจน/ล. หลังจากนั้นมีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ จนสิ้นสุดการทดลอง โดยชุดการทดลองปลาทองความหนาแน่น 0.5 ตัว/น้ำ 3 ล. เลี้ยงร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 3.5 ก./ล. มีปริมาณไนเตรทลดลงต่ำสุดในวันที่ 55 เหลือ 0.113 มก.ไนโตรเจน/ล. โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับชุดการทดลองที่รองลงมาคือปลาทองความหนาแน่น 0.5 ตัว/น้ำ 3 ล. เลี้ยงร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 2.5 ก./ล. และชุดการทดลองปลาทองความหนาแน่น 1 ตัว/น้ำ 3 ล. เลี้ยงร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 3.5 ก./ล. ซึ่งลดลงเหลือ 0.417 และ 0.620 มก.ไนโตรเจน/ล. ตามลำดับ (ตารางภาคผนวกที่ 30)

7) ปริมาณออร์โธฟอสเฟตเฉลี่ยเริ่มต้นอยู่ในช่วง 0.235-1.065 มก. ฟอสฟอรัส/ล. หลังจากนั้นมีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ จนสิ้นสุดการทดลอง โดยชุดการทดลองปลาทองความหนาแน่น 0.5 ตัว/น้ำ 3 ล. เลี้ยงร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 3.5 ก./ล. มีปริมาณออร์โธฟอสเฟตลดลงต่ำสุดในวันที่ 55 เหลือ 0.243 มก.ฟอสฟอรัส/ล. โดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับชุดการทดลองที่รองลงมาคือปลาทองความหนาแน่น 0.5 ตัว/น้ำ 3 ล. เลี้ยงร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 2.5 ก./ล. และ 1.5 ก./ล. ซึ่งลดลงเหลือ 0.265 และ 0.289 มก.ฟอสฟอรัส/ล. ตามลำดับ (ตารางภาคผนวกที่ 31)

3.3.2 ประสิทธิภาพการบำบัดธาตุอาหารของสาหร่ายข้าวเหนียว

1) แอมโมเนียรวม ชุดการทดลองปลาทองความหนาแน่น 1.0 ตัว/น้ำ 3 ล. เลี้ยงร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 3.5 ก./ล. สามารถบำบัดได้สูงสุดคือ 38.76 % ในวันที่ 45 ชุดที่รองลงมาคือชุดการทดลองปลาทองความหนาแน่น 0.5 ตัว/น้ำ 3 ล. เลี้ยงร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 3.5 ก./ล. สามารถบำบัดได้สูงสุดคือ 35.75 % ในวันที่ 55 และชุดการทดลองปลาทองความหนาแน่น 0.5 ตัว/น้ำ 3 ล. เลี้ยงร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 2.5 ก./ล. สามารถบำบัดได้สูงสุดคือ 23.98 % ในวันที่ 55 ของการทดลอง โดยประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียรวมมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ ตามระยะเวลาการทดลอง (ตารางภาคผนวกที่ 32)

2) ไนไตรท์ ชุดการทดลองปลาทองความหนาแน่น 1.0 ตัว/น้ำ 3 ล. เลี้ยงร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 3.5 ก./ล. สามารถบำบัดได้สูงสุดคือ 21.80 % ในวันที่ 45 รองลงมาคือชุดการทดลองปลาทองความหนาแน่น 1.5 ตัว/น้ำ 3 ล. เลี้ยงร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 3.5 ก./ล. สามารถบำบัดได้สูงสุดคือ 19.98 % ในวันที่ 20 และชุดการทดลองปลาทองความหนาแน่น 1 ตัว/น้ำ 3 ล. เลี้ยงร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 2.5 ก./ล. สามารถบำบัดได้สูงสุดคือ 18.15 % ในวันที่ 45 ของการทดลอง โดยประสิทธิภาพการบำบัดไนไตรท์มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ และเริ่มลดลงหลังจากวันที่ 45 ของการทดลอง (ตารางภาคผนวกที่ 33)

3) ไนเตรท ชุดการทดลองปลาทองความหนาแน่น 1 ตัว/น้ำ 3 ล. เลี้ยงร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 3.5 ก./ล. สามารถบำบัดได้สูงสุด 53.97 % ในวันที่ 50 รองลงมาคือชุดการทดลองปลาทองความหนาแน่น 0.5 ตัว/น้ำ 3 ล. เลี้ยงร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 3.5 ก./ล. สามารถบำบัดได้สูงสุด 52.72 % ในวันที่ 55 และชุดการทดลองปลาทองความ

หนาแน่น 1.5 ตัว/น้ำ 3 ล. เลี้ยงร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 3.5 ก./ล. สามารถบำบัดได้สูงสุด 45.31 % ในวันที่ 30 ของการทดลอง (ตารางภาคผนวกที่ 34)

4) ออร์โธฟอสเฟต ชุดการทดลองปลาทองความหนาแน่น 1 ตัว/น้ำ 3 ล. เลี้ยงร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 3.5 ก./ล. สามารถบำบัดได้สูงสุด 38.46 % ในวันที่ 35 รองลงมาคือชุดการทดลองปลาทองความหนาแน่น 1.5 ตัว/น้ำ 3 ล. เลี้ยงร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 3.5 ก./ล. สามารถบำบัดได้สูงสุดคือ 37.54 % ในวันที่ 40 และชุดการทดลองปลาทองที่ความหนาแน่น 1 ตัว/น้ำ 3 ล. เลี้ยงร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 2.5 ก./ล. สามารถบำบัดได้สูงสุดคือ 29.32 % ในวันที่ 35 ของการทดลอง โดยประสิทธิภาพการบำบัดออร์โธฟอสเฟตมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ และเริ่มลดลงหลังจากวันที่ 40 ของการทดลอง (ตารางภาคผนวกที่ 35)

3.3.2 อัตราการดูดซับธาตุอาหารของสาหร่ายข้าวเหนียว

1) แอมโมเนียรวมในวันที่ 55 ชุดการทดลองปลาทองความหนาแน่น 1 ตัว/น้ำ 3 ล. เลี้ยงร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 3.5 ก./ล. มีอัตราการดูดซับสูงสุดคือ 0.431 มก./ก.น้ำหนักสด/วัน โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับชุดการทดลองปลาทองความหนาแน่น 1.5 ตัว/น้ำ 3 ล. เลี้ยงร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 3.5 ก./ล. ซึ่งมีอัตราการดูดซับสูงสุดคือ 0.372 มก./ก.น้ำหนักสด/วัน และชุดการทดลองปลาทองที่ความหนาแน่น 1 ตัว/น้ำ 3 ล. เลี้ยงร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 2.5 ก./ล. ซึ่งมีอัตราการดูดซับสูงสุดคือ 0.360 มก./ก.น้ำหนักสด/วัน โดยอัตราการดูดซับแอมโมเนียรวมมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ ตามระยะเวลาการทดลอง (ตารางภาคผนวกที่ 36)

2) ไนไตรท์ ชุดการทดลองปลาทองความหนาแน่น 1.5 ตัว/น้ำ 3 ล. เลี้ยงร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 3.5 ก./ล. มีอัตราการดูดซับสูงสุดคือ 0.668 มก./ก.น้ำหนักสด/วัน ในวันที่ 50 รองลงมาคือชุดการทดลองปลาทองความหนาแน่น 1.5 ตัว/น้ำ 3 ล. เลี้ยงร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 2.5 ก./ล. มีอัตราการดูดซับสูงสุดคือ 0.559 มก./ก.น้ำหนักสด/วัน ในวันที่ 55 และชุดการทดลองปลาทองความหนาแน่น 1.5 ตัว/น้ำ 3 ล. เลี้ยงร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 1.5 ก./ล. มีอัตราการดูดซับสูงสุดคือ 0.486 มก./ก.น้ำหนักสด/วัน ใน

วันที่ 55 ของการทดลอง โดยอัตราการดูดซับไนไตรท์มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ ตามระยะเวลาการทดลอง (ตารางภาคผนวกที่ 37)

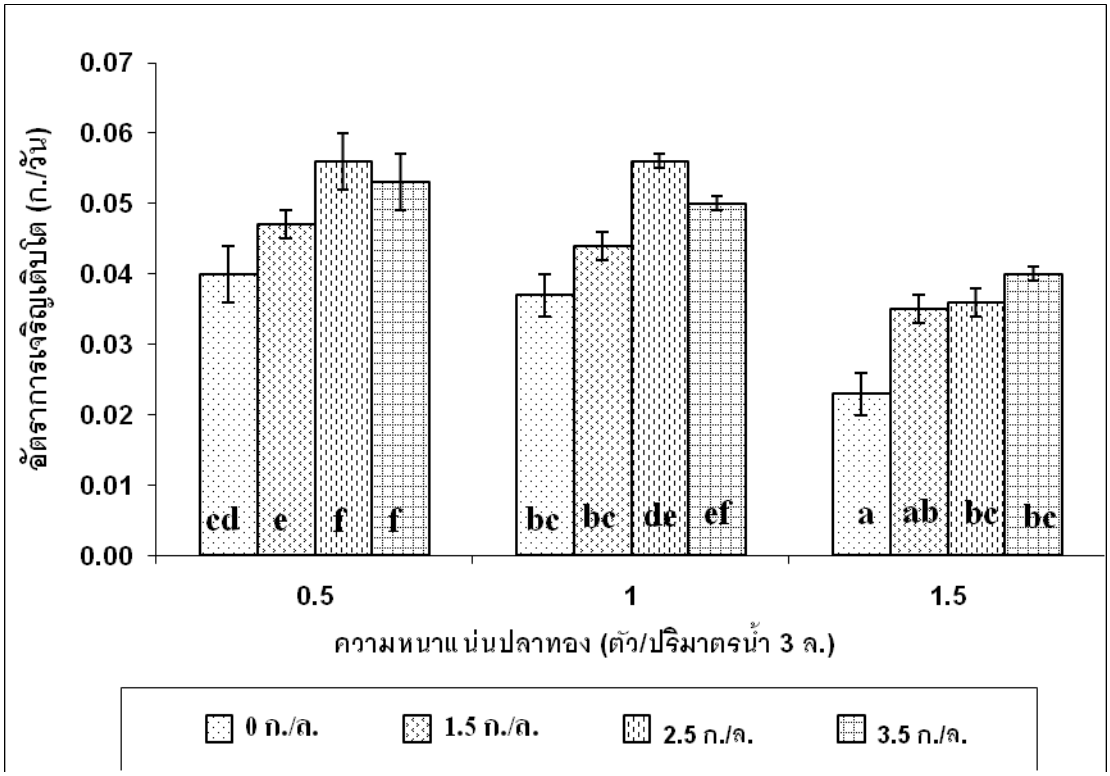
3) ไนเตรท ชุดการทดลองปลาทองความหนาแน่น 1.0 ตัว/น้ำ 3 ล. เลี้ยงร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 3.5 ก./ล. มีอัตราการดูดซับสูงสุดคือ 1.772 มก./ก.น้ำหนักสด/วัน ในวันที่ 40 รองลงมาคือชุดการทดลองปลาทองความหนาแน่น 1 ตัว/น้ำ 3 ล. เลี้ยงร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 2.5 ก./ล. มีอัตราการดูดซับสูงสุดคือ 1.642 มก./ก.น้ำหนักสด/วัน ในวันที่ 35 และชุดการทดลองปลาทองความหนาแน่น 1.5 ตัว/น้ำ 3 ล. เลี้ยงร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 3.5 ก./ล. มีอัตราการดูดซับสูงสุดคือ 1.599 มก./ก.น้ำหนักสด/วัน ในวันที่ 45 ของการทดลอง โดยอัตราการดูดซับไนเตรทมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น เรื่อย ๆ และเริ่มลดลงหลังจากวันที่ 40 ของการทดลอง (ตารางภาคผนวกที่ 38)

4) ออร์โธฟอสเฟต ในวันที่ 30 ชุดการทดลองปลาทองความหนาแน่น 1.5 ตัว/น้ำ 3 ล. เลี้ยงร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 3.5 ก./ล. มีอัตราการดูดซับสูงสุดคือ 0.693 มก./ก.น้ำหนักสด/วัน โดยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับชุดการทดลองปลาทองความหนาแน่น 1.5 ตัว/น้ำ 3 ล. เลี้ยงร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 2.5 ก./ล. ซึ่งมีอัตราการดูดซับสูงสุดคือ 0.551 มก./ก.น้ำหนักสด/วัน แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับชุดการทดลองปลาทองความหนาแน่น 1.5 ตัว/น้ำ 3 ล. เลี้ยงร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวความหนาแน่น 1.5 ก./ล. ซึ่งมีอัตราการดูดซับสูงสุดคือ 0.470 มก./ก.น้ำหนักสด/วัน โดยอัตราการดูดซับออร์โธฟอสเฟตมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ และเริ่มลดลงหลังจากวันที่ 30 ของการทดลอง (ตารางภาคผนวกที่ 39)

3.3.3 อัตราการเจริญเติบโตของปลาทอง

อัตราการเจริญเติบโตของปลาทองในชุดการทดลองปลาทองความหนาแน่น 1.0 ตัว/น้ำ 3 ล. เลี้ยงร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 2.5 ก./ล. มีอัตราการเจริญเติบโตสูงสุดคือ 0.057 ก./วัน โดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับชุดการทดลองที่รองลงมาคือชุดการทดลองปลาทองความหนาแน่น 0.5 ตัว/น้ำ 3 ล. เลี้ยงร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 2.5 ก./ล. ซึ่งมีอัตราการเจริญเติบโตสูงสุดคือ 0.055 ก./วัน และชุดการทดลองปลาทองความหนาแน่น 0.5 ตัว/น้ำ 3 ล. เลี้ยงร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 3.5 ก./วัน. ซึ่งมีอัตราการ

เจริญเติบโตสูงสุดคือ 0.053 ก./วันโดยอัตราการเจริญเติบโตของปลาทองมีความสัมพันธ์กับระดับความหนาแน่นของสาหร่ายข้าวเหนียว และอัตราการเจริญเติบโตของปลาทองมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ ตามระยะเวลาการทดลอง (ภาพที่ 27 และตารางภาคผนวกที่ 40)



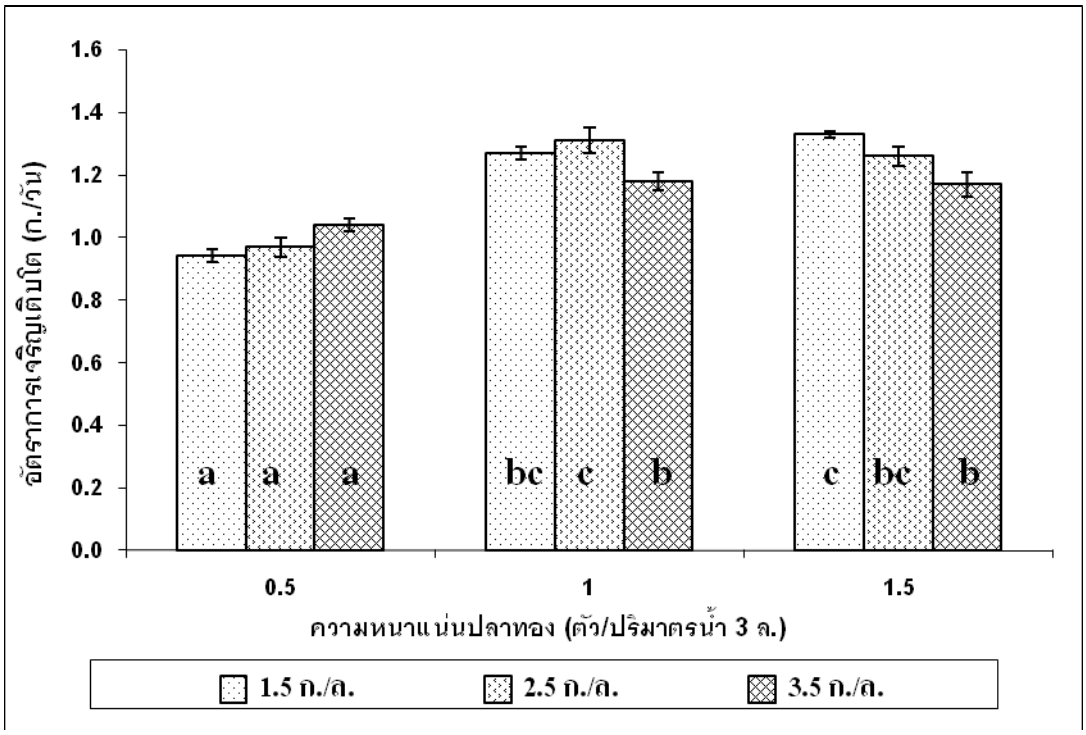
ภาพที่ 27 อัตราการเจริญเติบโตของปลาทองที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่น 0.5, 1.0 และ 1.5 ตัว/น้ำ 3 ล. เลี้ยงร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 0, 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. เมื่อสิ้นสุดระยะเวลา 56 วัน (ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD, n = 3)

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

3.3.4 อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายข้าวเหนียว

อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายข้าวเหนียวในชุดการทดลองปลาทองความหนาแน่น 1 ตัว/ 3 ล. เลี้ยงร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 2.5 ก./ล. มีอัตราการเจริญเติบโตสูงสุดคือ 1.353 ก./วัน ในวันที่ 49 ชุดที่รองลงมาคือชุดการทดลองปลาทองความหนาแน่น 1.5 ตัว/ 3 ล. เลี้ยงร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 1.5 ก./ล. และชุดการทดลองปลาทองความหนาแน่น 1 ตัว/ 3 ล. เลี้ยงร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 1.5 ก./ล. ซึ่งมี

อัตราการเจริญสูงสุดคือ 1.328 ก./วัน และ 1.270 ก./วัน ในวันที่ 56 ของการทดลอง อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายข้าวเหนียวมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ ตามระยะเวลาการทดลอง (ภาพที่ 28 และตารางภาคผนวกที่ 41)



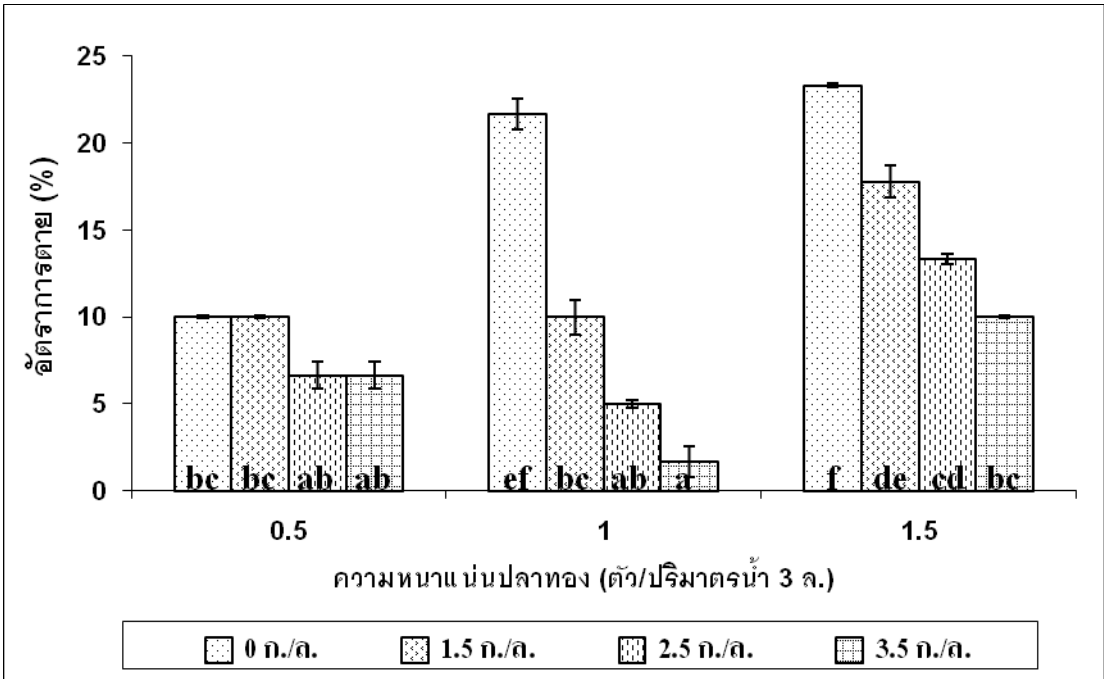
ภาพที่ 28 อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายข้าวเหนียวที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่น 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. ร่วมกับปลาทองที่ความหนาแน่น 0.5, 1.0 และ 1.5 ตัว/น้ำ 3 ล. ระยะเวลา 56 วัน (ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD, n = 3)

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

3.3.5 อัตราการตายของปลาทอง

อัตราการตายสะสมของปลาทองในชุดการทดลองปลาทองความหนาแน่น 1.5 ตัว/ 3 ล. ไม่มีสาหร่ายข้าวเหนียว มีอัตราการตายสะสมสูงสุดคือ 23.33 % โดยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับชุดการทดลองที่รองลงมาคือชุดการทดลองปลาทองความหนาแน่น 1 ตัว/ 3 ล. ไม่มีสาหร่ายข้าวเหนียว ซึ่งมีอัตราการตายสะสม 21.67 % แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับชุดการทดลองปลาทองความหนาแน่น 1.5 ตัว/ 3 ล. เลี้ยงร่วมกับ

สาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 1.5 ก./ล. ซึ่งมีอัตราการตายสะสม 17.78 % ในวันที่ 56 ของการทดลอง ในแต่ละความหนาแน่นของปลาทองชุดการทดลองที่ไม่มีสาหร่ายข้าวเหนียวมีอัตราการตายสะสมสูงที่สุด ส่วนชุดการทดลองปลาทองความหนาแน่น 1 ตัว/น้ำ 3 ล. เลี้ยงร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 3.5 ก./ล. มีอัตราการตายสะสมน้อยที่สุด 1.67 % (ภาพที่ 29 และตารางภาคผนวกที่ 42)



ภาพที่ 29 อัตราการตายสะสมของปลาทองที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่น 0.5, 1.0 และ 1.5 ตัว/น้ำ 3 ล. ร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 0, 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. เมื่อสิ้นสุดระยะเวลา 56 วัน (ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD, n = 3)

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

บทที่ 4

วิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 อัตราการดูดซับธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของสาหร่ายหางกระรอก สาหร่ายพุงชะโด และสาหร่ายข้าวเหนียวในน้ำจากการเลี้ยงปลาทอง

การเลี้ยงปลาทองในตู้ปลานั้นเป็นการเลี้ยงปลาระบบปิดจึงมีการสะสมของเสียที่ปลาขับถ่ายออกมาและเศษอาหารเหลือที่ค้างอยู่ในตู้เกิดการหมักหมม โดยจะอยู่ในรูปแอมโมเนีย จากกระบวนการ mineralization ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้สภาพของน้ำไม่เหมาะสมในการเลี้ยงปลา และมีการสะสมของไนเตรทซึ่งทำให้มีการเจริญของสาหร่ายในตู้เลี้ยงปลาจนเกิดความไม่สวยงาม และต้องมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำบ่อย ๆ การกำจัดของเสียขั้นต้นในตู้เลี้ยงปลาสามารถทำได้โดยการใช้เครื่องกรองน้ำ แต่ก็มีของเสียบางส่วนหลุดออกจากเครื่องกรองน้ำซึ่งส่วนหนึ่งเป็นสารประกอบไนโตรเจน เช่น แอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรท เมื่อสารประกอบไนโตรเจนเหล่านี้สะสมถึงระดับหนึ่งจะมีความเป็นพิษต่อปลา (วีรพงศ์, 2536; Carmignani and Bennett, 1977) โดยศิริวัฒน์ (2544) รายงานว่าแม้ในตู้เลี้ยงปลาทองจะมีการใช้เครื่องกรองน้ำและมีเชื้อจุลินทรีย์ที่มีอยู่แล้วตามธรรมชาติก็ไม่สามารถกำจัดแอมโมเนียและไนไตรท์ให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยได้ เนื่องจากปลาทองมีอัตราการผลิตแอมโมเนียในตู้เลี้ยงปลาประมาณ 2.5 มก./ล./วัน จากการศึกษาพบว่ามีพืชน้ำหลายชนิดที่สามารถบำบัดน้ำเสียได้ เช่น ผักตบชวา (*Eichhornia crassipes* (กิตติ และสำอาง, 2530; เพลินจิต และคณะ, 2530; เรียม, 2530; ข้าวทิพย์ และพิมล, 2533; อภิชัย, 2533; ณัฏฐา และคณะ, 2536; ขนิษฐา และคณะ, 2549; De Busk and Reddy, 1987; Hasan *et al*., 2007) ธูปฤาษี (*Typha latifolia*) (Netter, 1992) ผักเป็ดน้ำ (*Alternanthera philoxeroides*) อ้อ (*Phragnites communis*) (Wolverton *et al*., 1983) แหน (*Lemna* spp.) ดีปลีน้ำ (*Potamogeton crispus*) กก (*Scirpus lacustris*) แว่นแก้ว (*Hydrocotyle umbellate* Linn.) (เพลินจิต และคณะ, 2530; เรียม, 2530; อภิชัย, 2533; ณัฏฐา และคณะ, 2536; เพ็ญชุดา, 2546; ขนิษฐา และคณะ, 2549; Wolverton and McDonald, 1979; US EPA, 1988) ซึ่งจากการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของพืชน้ำ 3 ชนิดคือ สาหร่ายหางกระรอก สาหร่ายพุงชะโด และสาหร่ายข้าวเหนียว เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าสาหร่ายข้าวเหนียวมีประสิทธิภาพในการบำบัดดีที่สุด รองลงมาคือชุดที่มีสาหร่ายพุงชะโด และชุดที่มีสาหร่ายหางกระรอกดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัส (%) ของสาหร่ายข้าวเหนียว สาหร่ายพุงชะโด และสาหร่ายหางกระรอกในน้ำจากการเลี้ยงปลาทอง

ชนิดของสาหร่าย	ความหนาแน่น (ก./ล.)	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)			
		แอมโมเนีย	ไนไตรท์	ไนเตรท	ออร์โธฟอสเฟต
สาหร่ายข้าวเหนียว	2.5	20.13	72.46	28.78	27.62
สาหร่ายพุงชะโด	2.5	16.47	70.32	27.46	22.54
สาหร่ายหางกระรอก	2.5	11.98	72.96	23.53	21.28

โดยผลการศึกษาในครั้งนี้สาหร่ายหางกระรอกสามารถบำบัดน้ำเสียด้อยกว่าการทดลองของธัญลักษณ์ (2539) ซึ่งศึกษาประสิทธิภาพของสาหร่ายหางกระรอก ในพื้นที่ชุ่มน้ำแบบประดิษฐ์เพื่อบำบัดน้ำเสียจากชุมชน ระยะเวลาการทดลอง 90 วัน และการทดลองของชัชชาย (2538) ซึ่งศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียขั้นสุดท้ายของพืชน้ำที่จมและลอยโดยใช้สาหร่ายหางกระรอกและสาหร่ายพุงชะโด เพื่อลดปริมาณไนเตรทและฟอสเฟตของน้ำเสียโรงพยาบาลศรีนครินทร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ระยะเวลาการทดลอง 45 วัน (ตารางที่ 4) สาเหตุอาจเนื่องมาจากความเข้มข้นของสารอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำเสียชุมชนมีมากกว่าน้ำเสียจากการเลี้ยงปลาทองจะเห็นว่าปริมาณสารอาหารในน้ำเสียที่เข้าระบบบำบัดหากมีปริมาณสารอาหารมากประสิทธิภาพในการบำบัดก็มากขึ้นด้วย อีกทั้งระดับความเข้มของแสงที่ใช้ในการทดลองมีมากกว่าการทดลองครั้งนี้ด้วยเนื่องจากบริเวณที่ธัญลักษณ์ทำการทดลองอยู่นอกโรงเรือน แต่การทดลองครั้งนี้ดำเนินการในอาคารโดยใช้หลอดไฟฟลูออเรซเซนซ์จำนวน 3 หลอดเป็นแหล่งให้แสง ปริมาณแสงเป็นปัจจัยที่สำคัญมากในการเจริญเติบโตของพืชน้ำช่วยในการเร่งอัตราการดูดซับสารอาหารเพื่อการเจริญเติบโตและเกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงซึ่งผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงคือออกซิเจน และออกซิเจนก็มีส่วนสำคัญซึ่งจุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วย ระยะเวลาในการกักเก็บน้ำเสียก็มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดด้วยโดยประสิทธิภาพในการบำบัดจะแปรผันตรงตามระยะเวลาที่เพิ่มมากขึ้นเนื่องจากมีการตกตะกอนของสารแขวนลอยบ้าง และการย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วยจุลินทรีย์ ส่วนขนาดของพืชและปริมาณความหนาแน่นของพืชน้ำมีผลต่อพื้นที่ผิวในการยึดจับของจุลินทรีย์หากมีจุลินทรีย์มากประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียก็เพิ่มมากขึ้นด้วย นอกจากนี้ธัญลักษณ์ (2539) ทดลองในบ่อดินซึ่งระบบนิเวศดังกล่าวโดยเฉพาะดินอาจมีส่วนช่วยในการบำบัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสอีกด้วย (Ghayl *et al*., 2005)

ตารางที่ 4 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย (%) ของสาหร่ายหางกระรอก และสาหร่ายพุงชะโด

ชนิดของพืชน้ำ	ระยะเวลาการทดลอง (วัน)	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)				แหล่งอ้างอิง
		บีโอดี	สารแขวนลอย	ไนเตรท	ออร์โธฟอสเฟต	
สาหร่ายหางกระรอก	45	84	69	-	69	ธัญลักษณ์ (2539)
สาหร่ายหางกระรอก	90	-	-	32.24	72.53	ชัชชาย (2538)
สาหร่ายหางกระรอก	10.5	45-51	53-56	-	37-65	ธงชัย และ อุดมผล (2547)
สาหร่ายพุงชะโด	90	-	-	55.84	9.52	ชัชชาย (2538)

และมีการรายงานของชีวิน และคณะ (2545) ซึ่งศึกษาความสามารถในการบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งโดยใช้สัตว์และพืชน้ำทำการทดลองคล้ายกับการทดลองนี้คือ ทำการทดลองในตู้กระจก ด้วยระบบน้ำนิ่งที่ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำและทดลองในโรงเรือนโดยใช้แสงธรรมชาติ เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าสาหร่ายพุงชะโดมีความสามารถในการดูดซับแอมโมเนียได้มากที่สุด โดยมีค่าอัตราการดูดซับแอมโมเนียเท่ากับ 0.480 มก./ก./วัน ที่ความหนาแน่น 2.5 ก./ล. ซึ่งดีกว่าการทดลองในครั้งนี้ที่สาหร่ายพุงชะโดมีค่าอัตราการดูดซับแอมโมเนียเท่ากับ 0.403 มก./ก.น้ำหนักสด/วัน ที่ระดับความหาแน่นเท่ากัน เนื่องจากปริมาณสารอาหารของการทดลองครั้งนี้ต่ำกว่าจึงทำให้อัตราการดูดซับมีค่าต่ำกว่าโดยปริมาณแอมโมเนียในวันเริ่มต้นของชีวิน และคณะ (2545) อยู่ในช่วง 0.612-0.743 มก.ไนโตรเจน/ล. และของการทดลองนี้อยู่ในช่วง 0.542-0.545 มก.ไนโตรเจน/ล.

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรทในชุดควบคุมและชุดทดลองที่ใส่สาหร่ายมีแนวโน้มลดลงในทิศทางเดียวกัน แต่ในชุดควบคุมน้อยกว่าการทดลองอื่น มีความเป็นไปได้สูงว่าเกิดจากผลของกระบวนการ Nitrification เนื่องจากพืชน้ำทั้ง 3 ชนิดมีการสังเคราะห์ด้วยแสงเกิดขึ้นในช่วงเวลากลางวันและปล่อยก๊าซออกซิเจนออกมาให้จุลินทรีย์ที่มีอยู่แล้วตามธรรมชาติและเกาะตามส่วนต่าง ๆ ของพืชเช่นใบ ลำต้น และรากใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ และเกิดกระบวนการ Nitrification เปลี่ยนแอมโมเนีย เป็นไนไตรท์ และไนเตรทตามลำดับ กระบวนการ Nitrification จะเกิดขึ้นมากหรือน้อยถูกควบคุมด้วยหลายปัจจัย เช่น ปริมาณออกซิเจนละลาย อุณหภูมิ ปริมาณสารอินทรีย์ไนโตรเจนเริ่มต้น พีเอช และจำนวนประชากรของ nitrifying bacteria เป็นต้น (Hargreaves and Kucuk, 2001) จึงมีผลทำให้ชุดการทดลองที่มีพืชน้ำมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงกว่าชุดควบคุม

ส่วนชุดที่มีสาหร่ายข้าวเหนียว ประสิทธิภาพในการบำบัดได้ดีกว่าชุดที่มีสาหร่ายหางกระรอก และสาหร่ายพุงชะโดเนื่องจากสาหร่ายข้าวเหนียวมีจำนวนใบและรากมากกว่าพืชน้ำอีก 2 ชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งรากของพืชน้ำจะมีบทบาทสำคัญมากในการดูดซับสารอาหารในแหล่งน้ำ และเพิ่มพื้นที่ให้แบคทีเรียอาศัยอยู่ซึ่งแบคทีเรียใช้ออกซิเจนที่มีอยู่ในแหล่งน้ำและผลผลิตจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชน้ำช่วยในการย่อยสลายสารอินทรีย์เป็นการเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยา Nitrification (Mar *et al*., 1999; Ghayl *et al*., 2005) เมื่อพิจารณาอัตราการดูดซับธาตุอาหารของสาหร่ายหางกระรอก สาหร่ายพุงชะโด และสาหร่ายข้าวเหนียว พบว่าพืชน้ำทั้ง 3 ชนิด สามารถดูดซับแอมโมเนียได้ดีกว่าไนไตรท์ ไนเตรท และออร์โธฟอสเฟต โดยแอมโมเนียเป็นแหล่งปฐมภูมิของสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนของพืชน้ำเป็นส่วนใหญ่และสามารถนำแอมโมเนียเข้าสู่เซลล์ได้โดยตรง โดยพืชน้ำจะเลือกใช้สารประกอบไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียก่อนที่จะเลือกใช้ไนเตรท ส่วนการดูดซับไนเตรทเข้าสู่เซลล์ต้องอาศัยปฏิกิริยา 2 ขั้นตอนในการเปลี่ยนรูปไนเตรทเป็นไนไตรท์ และเปลี่ยนไนไตรท์เป็นแอมโมเนียเพื่อนำไปสังเคราะห์กรดอะมิโนและโปรตีนในการสร้างเซลล์ต่อไป สำหรับธาตุอาหารฟอสฟอรัสจัดเป็นธาตุอาหารที่พืชน้ำต้องการในปริมาณน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับธาตุอาหารไนโตรเจน และจากการที่มุกดา (2532) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานทอผ้าย่านรังสิตโดยใช้ผักตบชวา ธูปฤาษี และสาหร่ายเส้นด้าย กลับปรากฏว่า ผักตบชวา และสาหร่ายเส้นด้ายสามารถบำบัดน้ำเสียได้ในระยะแรกๆ จากนั้นเริ่มตายลงในสัปดาห์ที่ 4 และ 5 ตามลำดับ ส่วนธูปฤาษีมีชีวิตอยู่ได้ตลอดการทดลอง และมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุด การที่ผักตบชวาและสาหร่ายเส้นด้ายมีประสิทธิภาพด้อยลง เนื่องจากซากของพืชน้ำที่ตายลงและเน่าเปื่อยในน้ำทำให้คุณภาพน้ำต่ำลง นอกจากนี้ Gersberg และคณะ (1986) ได้กล่าวว่าพืชน้ำที่มีอัตราการดูดซับสารอาหารในน้ำได้น้อยนั้นเนื่องมาจากมีระบบรากที่ไม่เหมาะสมที่จะสร้างสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมกับการเจริญของกลุ่มจุลินทรีย์ได้ เช่นอาจมีร่มเงามากเกินไปจนทำให้มีแสงสว่างไม่เพียงพอต่อการเจริญของจุลินทรีย์บางกลุ่ม ดังนั้นพอจะสรุปได้ว่าประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของพืชน้ำนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายด้านด้วยกันไม่ว่าจะเป็นทางกายภาพ เคมี ชีวภาพ ชนิดของพืชน้ำและความสามารถของพืชในการเปลี่ยนรูปของสารอาหารเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต รวมถึงสภาพแวดล้อมของพืชที่แตกต่างกัน (Brix, 1997) โดยการเปลี่ยนแปลงอัตราการดูดซับสารอาหารของพืชน้ำมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิ ความเข้มแสง สารอาหาร และความสามารถในการดูดซับของพืชน้ำชนิดนั้น ๆ (Gopal, 1999) และ Henry-Silva และ คณะ (2008) ยังกล่าวอีกว่าชนิดของพืชน้ำที่มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว และมีความสามารถในการผลิตมวลชีวภาพสูงจะมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงได้

4.2 ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจน และฟอสฟอรัสและอัตราการดูดซับสารอาหารของสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่นต่าง ๆ

นอกจากชนิดของพืชน้ำ และปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย และอัตราการดูดซับสารอาหารในน้ำเสียแล้ว ระดับความหนาแน่นที่เหมาะสมของพืชน้ำนั้นก็มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย จากการทดลองที่ 1 พบว่าชุดการทดลองที่มีสาหร่ายข้าวเหนียวมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากการเลี้ยงปลาทองได้ดีที่สุด ดังนั้นจึงนำสาหร่ายข้าวเหนียวมาเลี้ยงที่ระดับความหนาแน่น 3 ระดับ เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดสารอาหารเพิ่มขึ้นตามความหนาแน่นของสาหร่ายโดยชุดที่มีสาหร่ายข้าวเหนียวความหนาแน่น 3.5 ก./ล. มีประสิทธิภาพในการบำบัดได้ดีที่สุดดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดสารอาหาร (%) ของสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่นต่าง ๆ

ความหนาแน่น (ก./ล.)	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)			
	แอมโมเนีย	ไนไตรท์	ไนเตรท	ออร์โธฟอสเฟต
1.5	12.08	11.32	17.48	23.30
2.5	20.63	14.86	27.05	28.36
3.5	27.21	23.42	33.24	34.64

ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับผลการทดลองของบุญมา (2548) ซึ่งศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาโดยใช้กระจับที่ความหนาแน่นแตกต่างกันเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่ากระจับที่ความหนาแน่น 3.ก./ล. ซึ่งเป็นความหนาแน่นที่มากที่สุดมีประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัดน้ำทิ้งให้มีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐาน

สาเหตุหลักที่ทำให้สาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 3.5 ก./ล. สามารถบำบัดสารอาหารได้ดีที่สุดเนื่องจากที่ความหนาแน่นดังกล่าวสาหร่ายสามารถดูดซับธาตุอาหารได้ดีที่สุดดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ค่าเฉลี่ยอัตราการดูดซับธาตุอาหารของสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่นต่าง ๆ

ความหนาแน่น (ก./ล.)	อัตราการดูดซับธาตุอาหาร (มก./ก.น้ำหนักสด/วัน)			
	แอมโมเนีย	ไนไตรท์	ไนเตรท	ออร์โธฟอสเฟต
1.5	0.238	0.337	0.792	0.129
2.5	0.258	0.378	1.013	0.139
3.5	0.267	0.406	1.141	0.163

จากการที่ความหนาแน่น 3.5 ก./ล. มีอัตราการดูดซับที่ดีที่สุดเนื่องจากที่ความหนาแน่น 3.5 ก./ล. มีจำนวนรากมากที่สุดโดยไพพรรณ และคณะ (2535) รายงานว่าจำนวนรากของพืชน้ำนั้นมีผลอย่างยิ่งต่อความสามารถของพืชน้ำในการดูดซับธาตุอาหารโดยเฉพาะไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโลหะหนัก จากการทดลองใช้ผักบุ้ง ผักกระเฉด และผักตบชวาเป็นตัวดูดซับธาตุอาหารจากน้ำเสียในบึงมักกะสัน พบว่าผักตบชวาดูดซับธาตุอาหารได้ดีมาก รองลงมาเป็นผักกระเฉด และผักบุ้ง ทั้งนี้อันเนื่องจากผักตบชวามีจำนวนรากที่มากและแข็งแรงเหมาะสมอย่างยิ่งในการดูดซับสารอาหาร

ส่วนสาเหตุที่รองลงมาได้แก่ การกรอง การตกตะกอนของน้ำเสียเอง แบคทีเรียในระบบใช้ราก และส่วนต่าง ๆ ของพืชน้ำเป็นแหล่งที่อยู่อาศัย โดยใช้ออกซิเจนที่มีอยู่แล้วในระบบ และจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงใช้ในกระบวนการ Nitrification เปลี่ยนแอมโมเนีย เป็นไนไตรท์ และไนเตรท ตามลำดับ (Bachand and Horne, 1999; Fraser *et al*., 2004) อีกทั้งอาศัยการดูดซับสารอาหารของพืชน้ำในการเจริญเติบโตด้วย จึงเป็นสาเหตุของความสามารถในการบำบัดน้ำเสียจากการเลี้ยงปลาทองได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Brix, 1997) นอกจากนี้การเพิ่มจำนวนและกิจกรรมของจุลินทรีย์นั้นจะทำให้เกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์เกิดขึ้นได้ ดังนั้นสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 3.5 ก./ล. ซึ่งมีระบบรากและปริมาณพื้นที่ผิวของพืชน้ำมากกว่าความหนาแน่นอื่นทำให้มีปริมาณจุลินทรีย์มากเกิดอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์เพิ่มมากขึ้น และจากการทดลองของชีวิน และคณะ (2545) ศึกษาความสามารถในการบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งโดยใช้สัตว์และพืชน้ำได้ศึกษาความหนาแน่นของสัตว์และพืชน้ำที่เหมาะสมในการบำบัด พบว่าสาหร่ายพุงชะโดมีความสามารถในการดูดซับแอมโมเนียได้มากที่สุด โดยมีค่าอัตราการดูดซับแอมโมเนียเท่ากับ 0.04 มก.-ไนโตรเจน/ก./ชม. ที่ความหนาแน่น 2.5 ก./ล. หากเพิ่มความหนาแน่นของสาหร่ายข้าวเหนียวมากกว่า 3.5 ก./ล. พบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับจะลดลงเนื่องจากระดับความหนาแน่นมากเกินไปส่งผลต่อปริมาณสารอาหารในน้ำที่ไม่เพียงพอทำให้พืชน้ำตายเน่าเสียและปล่อยสารอาหารกลับสู่แหล่งน้ำต่อไป ดังนั้นการควบคุมปริมาณความหนาแน่นให้มีความเหมาะสมจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย

4.3 การเลี้ยงสาหร่ายข้าวเหนียวร่วมกับปลาทองในระบบปิด

4.3.1 ประสิทธิภาพการบำบัดสารอาหารของสาหร่ายข้าวเหนียว

ชุดการทดลองปลาทองความหนาแน่น 1 ตัว/น้ำ 3 ล. เลี้ยงร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 3.5 ก./ล. สามารถบำบัดแอมโมเนียรวม ไนไตรท์ ไนเตรท และออร์โธฟอสเฟต ได้สูงสุดคือ 38.76 %, 21.80 %, 53.97 % และ 38.46 % โดยปัจจัยหลักในการบำบัดนั้นอาศัยพืชน้ำเป็นหลักในการดูดซับสารอาหารต่าง ๆ ซึ่งกลไกการบำบัดแอมโมเนียเกิดขึ้นโดยพืชน้ำจะใช้แอมโมเนียเป็นแหล่งไนโตรเจน สำหรับการเจริญเติบโตและการดำรงชีวิต ส่วนอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้แอมโมเนียลดลงนอกเหนือจากการดูดซับไปใช้โดยพืชน้ำแล้ว ยังเกิดจากแอมโมเนียบางส่วนถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นรูปอื่น และที่ความหนาแน่นของสาหร่ายข้าวเหนียว 3.5 ก./ล. สามารถบำบัดได้สูงสุดเนื่องจากมีปริมาณพื้นที่ผิวและรากมากกว่าความหนาแน่นอื่น โดยรากของพืชน้ำมีบทบาทที่สำคัญมากในการดูดซับสารอาหารและเพิ่มพื้นที่ผิวให้แบคทีเรียอาศัยในการย่อยสลายสารอินทรีย์และเพิ่มการเจริญของ nitrifying bacteria ทำให้สารอินทรีย์มีปริมาณลดลง (Fraser *et al*., 2004; Brix, 1997) และจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชน้ำเกิดออกซิเจนเพิ่มขึ้นมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา nitrification ย่อยสลายแอมโมเนียเป็นไนไตรท์ และไนเตรทตามลำดับ โดย Boyd (1992) กล่าวว่าในสภาพที่มีโมเลกุลของออกซิเจนเพียงพอแอมโมเนียสามารถถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นไนไตรท์ และไนเตรท โดยร่วมกับการทำงานของแบคทีเรียกลุ่ม nitrifying bacteria ที่มีอยู่ในน้ำ เรียกว่ากระบวนการ nitrification อีกทั้งการเปลี่ยนแปลงไนเตรทเกิดจากกระบวนการทางกายภาพ เช่นการตกตะกอน กระบวนการทางชีวภาพ เช่นกระบวนการ nitrification การดูดซับของพืชน้ำเข้าสู่รากโดยตรง (Brix, 1997; Koottatep and Polprasert, 1997) ส่วนปริมาณออร์โธฟอสเฟตที่ลดลงเกิดจากกระบวนการทางชีวภาพคือการดูดซับและการสะสมในพืชน้ำร่วมกับกระบวนการทางกายภาพคือการตกตะกอน แต่ส่วนใหญ่เกิดจากการดูดซับทางเคมี และการตกตะกอนมากกว่าที่พืชนำไปใช้ (Stottmeister *et al*., 2003; Ghayl *et al*., 2005) การเลี้ยงสาหร่ายข้าวเหนียวร่วมกับการเลี้ยงปลาทองในระบบปิดเมื่อดำเนินการเลี้ยงไประยะหนึ่งจะมีเกิดปัญหาตะไคร่น้ำเกาะข้างตู้ เนื่องจากน้ำในตู้ทดลองมีแพลงก์ตอนพืชอาศัยอยู่ซึ่งแพลงก์ตอนพืชจะดูดซับแอมโมเนียที่ปลาขับถ่ายออกมาใช้ในการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนทำให้เกิดตะไคร่น้ำขึ้น ทำให้ตู้เลี้ยงปลาไม่สวยงามต้องขัดทำความสะอาดตู้เป็นระยะ ๆ

4.3.2 อัตราการเจริญเติบโตและการตายของปลาทอง

ปลาทองเป็นปลาที่สามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดี โดยคุณภาพน้ำเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญอย่างยิ่งกับการเลี้ยงปลาในตู้ปลาสวยงามเนื่องจากมีผลต่อสุขภาพ การเจริญเติบโต และการขยายพันธุ์ รวมถึงความสวยงามของปลาจึงต้องมีการควบคุมดูแลให้มีความเหมาะสมและอยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อปลา จากผลการทดลองพบว่าชุดการทดลองปลาทองความหนาแน่น 1 ตัว/น้ำ 3 ล. เลี้ยงร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวความหนาแน่น 2.5 ก./ล. มีอัตราการเจริญเติบโตมากที่สุด เท่ากับ 0.057 ก./วัน โดยคุณภาพน้ำในชุดการทดลองทั้งหมดมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ในช่วง 24.00-29.00 องศาเซลเซียส ปริมาณออกซิเจนละลายเฉลี่ยอยู่ในช่วง 6.45-7.77 มก./ล. ความเป็นด่างเฉลี่ยอยู่ในช่วง 66.86-84.02 มก./ล. แอมโมเนียรวมเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.033-0.685 มก.ไนโตรเจน/ล. ไนไตรท์เฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.114-1.270 มก.ไนโตรเจน/ล. ไนเตรทเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.113-2.774 มก.ไนโตรเจน/ล. และออร์โธฟอสเฟตเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.235-1.065 มก.ฟอสฟอรัส/ล. ซึ่งชุดการทดลองนี้มีคุณภาพน้ำเฉลี่ยอยู่ในช่วงที่เหมาะสมกว่าชุดการทดลองอื่นทำให้ปลาทองในชุดการทดลองนี้มีการเจริญเติบโตและอัตราการรอดตายมากที่สุด และระดับความหนาแน่นของปลาทองมีความเหมาะสมสอดคล้องกับการทดลองของศิริวัฒน์ (2544) ที่ศึกษาการกำจัดสารประกอบไนโตรเจนในตู้เลี้ยงปลาน้ำจืดระบบปิดโดยกระบวนการ nitrification และ denitrification พบว่าระดับความหนาแน่นของปลาทองที่เหมาะสมที่ทำให้ปลามีการเจริญเติบโตมากที่สุดคืออยู่ในช่วง 0.5-1.0 ตัว/น้ำ 3 ล. อีกทั้งชุดการทดลองนี้ได้เลี้ยงร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่มีความหนาแน่น 2.5 ก./ล. ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของชีวิน และคณะ (2545) ที่ศึกษาความสามารถในการบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งโดยใช้สัตว์และพืชน้ำพบว่าสาหร่ายพุงชะโดที่ความหนาแน่น 2.5 ก./ล. มีประสิทธิภาพในการดูดซับแอมโมเนียได้มากที่สุด เนื่องจากแอมโมเนียมีความเป็นพิษต่อปลา ถ้าในน้ำมีปริมาณที่สูงเกินไปส่งผลให้ความเป็นกรด-ด่างของเลือดสูงขึ้นและเป็นผลเสียต่อปฏิกิริยาชีวเคมีต่าง ๆ ในร่างกายและต้องการออกซิเจนเพิ่มขึ้น รวมทั้งทำอันตรายต่อเหงือกและลดความสามารถของเลือดในการขนถ่ายออกซิเจนทำให้ปลามีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อเพิ่มขึ้นและอัตราการเจริญเติบโตลดลง (มั่นสิน และไพพรรณ, 2539; Colt and Tchobanoglous, 1978; Hargreaves and Kucuk, 2001; Colt, 2006) อัตราการตายสะสมของปลาทองในชุดการทดลองปลาทองความหนาแน่น 1.5 ตัว/ 3 ล. ไม่มีสาหร่ายข้าวเหนียว มีอัตราการตายสะสมสูงสุดคือ 23.33 % เนื่องจากในชุดการทดลองนี้มีคุณภาพน้ำบางพารามิเตอร์ที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลา โดยมีแอมโมเนียรวมเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.453-0.670 มก.ไนโตรเจน/ล. และไนไตรท์เฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.590-1.270 มก.ไนโตรเจน/ล. ซึ่งระดับแอมโมเนียรวมที่เหมาะสมคือไม่

ควรเกิน 0.02 มก./ล. (ประเทือง, 2534) และระดับไนไตรท์ที่เหมาะสมคือไม่ควรเกิน 0.1 มก./ล. (ไมตรี และ จารุวรรณ, 2528) สาเหตุที่ทำให้ปริมาณแอมโมเนียรวมและไนไตรท์ในชุดการทดลองนี้ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลาทองเพราะตู้ทดลองที่ไม่มีพืชน้ำเมื่อดำเนินการเลี้ยงไประยะหนึ่งจะเกิดปัญหาตะไคร่น้ำ ตะไคร่น้ำที่ตายและปริมาณของเสียจากการขับถ่ายของปลาทำให้น้ำเกิดการเน่าเสียเพราะไม่มีพืชน้ำที่จะดูดซับของเสียดังกล่าว

4.3.2 อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายข้าวเหนียว

การเจริญเติบโตของสาหร่ายข้าวเหนียวจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาซึ่งในช่วง 7-14 วันแรกของการทดลองพบว่ามีการเจริญเติบโตที่สูง เนื่องจากสาหร่ายข้าวเหนียวมีความต้องการสารอาหารสูงเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตจึงสามารถดูดซับและรับสาร (uptake) เข้าสู่ต้นพืชได้สูงโดยผ่านทางระบบรากเป็นส่วนใหญ่ (Brix, 1997) นอกจากนี้ราก ใบ และลำต้นที่อยู่ใต้น้ำยังเป็นพื้นผิวให้จุลินทรีย์อาศัย (Biofilm) ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้จะทำหน้าที่ในการย่อยสลายสารอาหาร เช่น ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ให้อยู่ในรูปที่พืชน้ำสามารถนำไปใช้ได้ (อภิชัย, 2533; Stowell *et al*., 1981) จากการทดลองพบว่าชุดสาหร่ายข้าวเหนียวความหนาแน่น 1.5 ก./ล. เลี้ยงร่วมกับปลาทองที่ความหนาแน่น 1.5 ตัว/ 3 ล. มีอัตราการเจริญมากที่สุดคือ 1.328 ก./วัน เนื่องจากความหนาแน่นของปลาทองที่ 1.5 ตัว/น้ำ 3 ล. เป็นความหนาแน่นที่มากที่สุดกว่าชุดการทดลองอื่นจึงทำให้มีปริมาณสารอาหารไนโตรเจน และฟอสฟอรัสค่อนข้างสูงเป็นประโยชน์ต่อการนำไปใช้ของสาหร่ายข้าวเหนียว และสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 1.5 ก./ล. เป็นความหนาแน่นที่น้อยที่สุด เนื่องจากอัตราความหนาแน่นมีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายข้าวเหนียวด้วยยิ่งความหนาแน่นของสาหร่ายข้าวเหนียวน้อยทำให้ไม่เกิดการแย่งสารอาหารซึ่งพบว่าทุกความหนาแน่นของปลาทองเมื่อมีการเพิ่มความหนาแน่นของสาหร่ายข้าวเหนียวจะทำให้การเจริญเติบโตของสาหร่ายข้าวเหนียวลดลงเนื่องจากปริมาณสารอาหารมีอยู่อย่างจำกัดหากความหนาแน่นของสาหร่ายข้าวเหนียวสูงทำให้ปริมาณสารอาหารไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตสอดคล้องกับการทดลองของ Carr และ คณะ (1997) ที่พบว่าความหนาแน่นของพืชน้ำเพิ่มขึ้นทำให้อัตราการเจริญของพืชน้ำลดลง

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สาหร่ายที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดและดูดซับธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำจากการเลี้ยงปลาทองได้ดีที่สุด

สาหร่ายข้าวเหนียวมีประสิทธิภาพในการบำบัดธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสดีที่สุดโดยมีประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัดแอมโมเนียรวม ไนเตรท และออร์โธฟอสเฟต เท่ากับ 20.13 %, 28.78 % และ 27.62 % ตามลำดับ รองลงมาคือชุดที่มีสาหร่ายพุงชะโด และชุดที่มีสาหร่ายหางกระรอก โดยสาหร่ายข้าวเหนียวมีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการดูดซับแอมโมเนีย ไนเตรท และออร์โธฟอสเฟต เท่ากับ 0.349, 1.085 และ 0.212 มก./ก.น้ำหนักสด/วัน ตามลำดับ

5.2 ความหนาแน่นที่เหมาะสมที่สุดของสาหร่ายข้าวเหนียวในการบำบัดและดูดซับธาตุอาหารไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในน้ำจากการเลี้ยงปลาทอง

สาหร่ายข้าวเหนียวความหนาแน่น 3.5 ก./ล. เหมาะสมที่สุดในการบำบัดน้ำจากการเลี้ยงปลาทองเพราะมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำได้ดีที่สุด โดยมีประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียรวม ไนไตรท์ ไนเตรท และออร์โธฟอสเฟต เท่ากับ 27.21 %, 23.42 %, 33.24 % และ 34.64 % ตามลำดับ รองลงมาคือชุดสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 2.5 ก./ล. และ 1.5 ก./ล. ตามลำดับ นอกจากนี้สาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 3.5 ก./ล. สามารถดูดซับแอมโมเนียรวม ไนไตรท์ ไนเตรท และออร์โธฟอสเฟตได้มากที่สุด เท่ากับ 0.267, 0.406, 1.141 และ 0.163 มก./ก. น้ำหนักสด/วัน

5.3 การเลี้ยงสาหร่ายข้าวเหนียวร่วมกับปลาทองในระบบปิด

อัตราการเจริญเติบโตของปลาทองเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าปลาทองความหนาแน่น 1 ตัว/น้ำ 3 ล. เลี้ยงร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 2.5 ก./ล. มีอัตราการ

เจริญเติบโตมากที่สุด เท่ากับ 0.057 ก./วัน โดยมีประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนียรวม ไนไตรท์ ไนเตรท และออร์โธฟอสเฟต เท่ากับ 24.06%, 18.15 %, 45.09 % และ 29.32 % ตามลำดับ และมีอัตราการดูดซับแอมโมเนียรวม ไนไตรท์ ไนเตรท และออร์โธฟอสเฟต เท่ากับ 0.365, 0.366, 1.642 และ 0.400 มก./ก.น้ำหนักสด/วัน ตามลำดับ ส่วนอัตราการรอดตายของปลาทองพบว่าชุดการทดลองปลาทองความหนาแน่น 1 ตัว/น้ำ 3 ล. เลี้ยงร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 3.5 ก./ล. มีอัตราการรอดตายมากที่สุดคือ 98.33 % โดยชุดการทดลองนี้มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการบำบัดแอมโมเนียรวม ไนไตรท์ ไนเตรท และออร์โธฟอสเฟต เท่ากับ 38.76 %, 21.80 %, 53.97 % และ 38.46 % ตามลำดับ ส่วนอัตราการดูดซับพบว่าชุดการทดลองปลาทองความหนาแน่น 1 ตัว/น้ำ 3 ล. เลี้ยงร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 3.5 ก./ล. มีอัตราการดูดซับแอมโมเนียรวมและไนเตรทมากที่สุดคือ 0.431 และ 1.772 มก./ก.น้ำหนักสด/วัน ดังนั้นหากมีความต้องการที่จะเลี้ยงปลาทองร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวควรเลี้ยงปลาทองที่ความหนาแน่น 0.5 หรือ 1 ตัว/น้ำ 3 ล. ร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 3.5 ก./ล.

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาการใช้พืชน้ำหลายๆ ชนิดรวมกันในการบำบัดน้ำเสีย เพราะพืชน้ำแต่ละชนิดมีความสามารถในการบำบัดพารามิเตอร์คุณภาพน้ำแตกต่างกัน ซึ่งอาจจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดให้ดีมากยิ่งขึ้นดังที่พบว่าสาหร่ายข้าวเหนียวมีประสิทธิภาพในการดูดซับแอมโมเนีย และออร์โธฟอสเฟตได้ดีที่สุด ส่วนสาหร่ายหางกระรอกมีประสิทธิภาพในการดูดซับไนไตรท์ได้ดีที่สุด และสาหร่ายพุงชะโดมีประสิทธิภาพในการดูดซับไนเตรทได้ดีที่สุด ดังนั้นหากนำพืชน้ำทั้ง 3 ชนิดมาเลี้ยงร่วมกันจะทำให้มีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเพิ่มมากขึ้น

2. เนื่องจากความเข้มแสงมีผลต่ออัตราการดูดซับสารอาหารและประสิทธิภาพการบำบัดน้ำของพืชน้ำแต่การทดลองนี้ดำเนินการในที่ร่ม ความเข้มแสงอาจไม่เหมาะสมต่อการเจริญของสาหร่ายที่ใช้ทดลอง ดังนั้นควรมีการศึกษาเพิ่มเติมที่ความเข้มแสงต่างกันรวมทั้งในสภาวะแสงธรรมชาติเพื่อหาระดับความเข้มแสงที่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำของสาหร่ายแต่ละชนิดและสามารถนำพืชน้ำไปประยุกต์ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3. อาจนำระบบบำบัดน้ำด้วยสาหร่ายไปประยุกต์ใช้ โดยมีระบบบำบัดน้ำด้วยสาหร่ายอยู่ภายนอกตู้เลี้ยงปลาสวยงามเพราะสามารถดูแลรักษาได้ง่ายและสะดวกต่อการเก็บเกี่ยวเมื่อพืชน้ำเกิดการเน่าตายป้องกันการปล่อยสารกลับสู่แหล่งน้ำ

เอกสารอ้างอิง

กาญจนรี พงษ์ฉวี. 2545. การเพาะพันธุ์ปลาทอง. เข้าถึงได้จาก http://www.nicaonline.com เข้าถึงเมื่อวันที่ 15 พฤศจิกายน 2552.

กาญจนรี พงษ์ฉวี. 2550. การปลูกพรรณไม้น้ำในแปลงเพาะพันธุ์. เข้าถึงได้จาก http://www.nicaonline.com เข้าถึงเมื่อวันที่ 20 พฤศจิกายน 2550.

กิตติ เอกอำพล และสำอาง หอมชื่น. 2530. การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานเยื่อกระดาษโดยใช้กกกลม (*Scirpus muronatus*) และผักตบชวา (*Eichhornia crassipes*). วารสารวิจัยสภาวะแวดล้อม 9: 14-31.

ขนิษฐา เอื้องศิริรัตน์, ปฐมพงษ์ อัปมระกา, ศรีผกา เจริญยศ และวรรณภา นิติมงคลชัย. 2549. ผลของผักตบชวาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในลำห้วยคะคาง เขตเทศบาลเมืองมหาสารคาม. เข้าถึงได้จาก http://kru.trf.or.th เข้าถึงเมื่อวันที่ 20 พฤศจิกายน พ.ศ. 2549.

ข้าวทิพย์ เจนธุรกิจ และพิมล เรียนวัฒนา. 2533. การนำผักตบชวา (*Eichhornia crassipes*) มาใช้ในการลดปริมาณโลหะหนักในน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรม. วารสารการอนามัยและสิ่งแวดล้อม 13: 49-70.

จิรวัช ช่วยรอดหมด. 2550. ประสิทธิภาพของระบบกรองชีวภาพเพื่อการเลี้ยงปลาในตู้ระบบปิด. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ช่อทิพย์ อาธารมาศ. 2531. พรรณไม้น้ำของไทย. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา.

ชัชชาย แจ่มใส. 2538. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียขั้นสุดท้ายของวัชพืชน้ำที่จมและลอย. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ชาติ ไชยณรงค์. 2534. ปลาทอง. ฐานเกษตรกรรม. กรุงเทพฯ.

ชีวิน อรรถสาสน์, วิวัฒน์ เรืองเลิศปัญญากุล และปิยะบุตร วานิชพงษ์พันธุ์. 2545. การบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งด้วยกระบวนการทางชีวภาพ. รายงานการประชุมวิชาการกุ้งทะเลแห่งชาติ ประจำปี 2545 ณ ศูนย์ประชุมริมทะเล ระยองรีสอร์ท จังหวัดระยอง 18-19 พฤศจิกายน 2545 หน้า 188-197.

ณัฏฐา หังสพฤกษ์, บัณฑิต อนุรักษ์, มุกดา สุขสมาน และศิริพรรณ ทวีสุข. 2536. การทดลองเบื้องต้นของการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานทอผ้า โดยใช้ผักตบชวา ธูปฤาษี และสาหร่ายเส้นด้าย. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 1: 30-42.

ดารารัตน์ ชูสวัสดิ์. 2547. การศึกษาคุณลักษณะของสารฟูคอยแดนจากสาหร่ายข้าวเหนียว. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ตุลฮาบ หวังสุข. 2549. บัญญัติ 10 ประการของปลาทอง. นิตยสารคุณภาพคนรักปลา 5: 74-78.

ธงชัย ขนาบแก้ว และอุดมผล พืชน์ไพบูลย์. 2547. การบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยใช้ระบบบ่อร่วมกับพืชน้ำ: บัวหลวงและสาหร่ายหางกระรอก. วารสารสงขลานครินทร์ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 26: 749-756.

ธัญลักษณ์ แต่บรรพกุล. 2539. ประสิทธิภาพของดีปลีน้ำ และสาหร่ายหางกระรอก ในการบำบัดน้ำเสียจากชุมชน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นงนุช เลาหะวิสุทธิ์. 2544. ระบบการเลี้ยงปลาสวยงามร่วมกับการปลูกพรรณไม้น้ำแบบไร้ดินในระบบปิด. วารสารเคหะการเกษตร 25: 205-215.

นันทิมา สุทธิวรรณกุล. 2546. ผลของการปลูกพรรณไม้น้ำร่วมกับการเลี้ยงปลาในระบบต่าง ๆ ที่มีต่อผลผลิตและคุณภาพน้ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

บุญมา กรายไทยสงค์. 2548. การบำบัดน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยบูรพา.

ประเทือง เชาว์วันกลาง. 2534. คุณภาพน้ำทางการประมง. หจก. สำนักพิมพ์ฟิสิกส์ เซ็นเตอร์, กรุงเทพฯ.

ประวิทย์ สุรนีรนาถ. 2550. พรรณไม้น้ำในประเทศไทย. เข้าถึงได้จาก http://www.ku.ac.th/AgrInfo/thaifish/aqplant/ เข้าถึงเมื่อวันที่ 20 เมษายน 2550.

ผกามาศ ออมสิน, ภาคสกร รักกลัด และยุพิน พูนดี. 2548. การจัดการคุณภาพน้ำในการเลี้ยงปลานิลแดงโดยระบบหมุนเวียนน้ำผ่านบึงประดิษฐ์. สารนิพนธ์การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยนเรศวร.

พรชัย เหลืองอาภาพงศ์. 2540. วัชพืชศาสตร์. วี.บี. บุ๊คเซ็นเตอร์ (เค.ยู.), กรุงเทพฯ.

พรเลิศ จันทร์รัชชกูล, เจ เอฟ เทอร์นบอล และชะลอ ลิ้มสุวรรณ. 2537. คู่มือการเลี้ยงและการป้องกันโรคกุ้งกุลาดำ. สถาบันวิจัยสุขภาพสัตว์น้ำ กรมประมง, กรุงเทพฯ.

พัฒนี จันทรโรทัย. 2536. ข้อพิจารณาในการใช้พืชน้ำปรับปรุงคุณภาพน้ำ. วารสารวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 11: 154-157.

พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย และพันธวัศ สัมพันธ์พานิช. 2550. การกำจัดโครเมียมโดยใช้พืชน้ำ. วารสารวิจัยสภาวะแวดล้อม 29: 69-80.

เพ็ญชุดา ปัญญาวานิชกุล. 2546. การบำบัดน้ำเสียโดยใช้ต้นเตย ตาลปัตรฤาษี และแว่นแก้ว ในระบบบึงประดิษฐ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

เพลินจิต ทมทิตชงค์, สนธิ คชวัฒน์ และศักดิ์สิทธิ์ ตรีเดช. 2530. ประสิทธิภาพของผักตบชวาในการกำจัดโลหะหนัก แคดเมียม ทองแดง ตะกั่ว. วารสารวิจัยสภาวะแวดล้อม 9: 1-31.

ไพรพรรณ เทียนทอง, โสภา อารีรัตน์ และสุชาติ อิงธรรมจิตร์. 2535. การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำ แพลงก์ตอนพืช และแบคทีเรียในบ่อเลี้ยงปลาดุก. สถาบันวิจัยประมงน้ำจืด กรมประมง. หน้า 243-254.

ไพโรจน์ พรหมานนท์. 2541. การเพาะพันธุ์สาหร่ายวุ้นโดยใช้เปลือกหอยรองรับการเกาะของสปอร์. วารสารการประมง 51: 307-318.

มณีรัตน์ หวังวิบูลย์กิจ. 2547. เทคนิคการจัดตู้ปลาและพรรณไม้น้ำ. สถาบันวิจัยและพัฒนาทรัพยากรประมงน้ำจืด. สำนักวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด กรมประมง, กรุงเทพฯ.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และไพพรรณ พรประภา. 2539. การจัดการคุณภาพน้ำและการบำบัดน้ำเสียในบ่อเลี้ยงปลาและสัตว์น้ำอื่น ๆ. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

มารุต ไหลสกุล. 2546. การกำจัดตะกั่วในน้ำเสียโดยสาหร่ายอบแห้ง *Sagassum polycystum* และ *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle. วิทยานิพนธ์ปริญญาสาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

มุกดา สุขสมาน. 2532. การทดลองเบื้องต้นของการกำจัดน้ำเสียจากโรงงานทอผ้าย่านรังสิตโดยใช้ผักตบชวา ธูปฤาษี และสาหร่าย. รายงานการรวบรวมรายงานทางวิชาการเรื่องการบำบัดและการกำจัดน้ำเสีย. เล่ม 2 ศูนย์อนามัยสิ่งแวดล้อมเขต 6 ขอนแก่น. กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, กรุงเทพฯ.

ไมตรี ดวงสวัสดิ์ และจารุวรรณ สมศิริ. 2528. คุณสมบัติของน้ำและวิธีวิเคราะห์สำหรับการวิจัยทางการประมง. ฝ่ายวิจัยสิ่งแวดล้อมสัตว์น้ำ สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ กรมประมง, กรุงเทพ ฯ.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2543. ธาตุอาหารพืช. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

เรียม เดชะโสภณมณี. 2530. ผักตบชวาและประโยชน์ในการปรับปรุงน้ำเสีย. จุลสารสภาวะแวดล้อม 6: 23-35.

วันเพ็ญ มีนกาญจน์ และกาญจนรี พงษ์ฉวี. 2543. พรรณไม้น้ำสวยงาม. สถาบันวิจัยสัตว์น้ำสวยงามและสถานแสดงพันธุ์สัตว์น้ำ. กรมประมง.

วันเพ็ญ มีนกาญจน์, กาญจนา จิรพันธ์พิพัฒน์ และพิสิฐ ภูมิคง. 2543. การเพาะเลี้ยงปลาทอง. สถาบันวิจัยสัตว์น้ำสวยงามและสถานแสดงพันธุ์สัตว์น้ำ. กรมประมง.

วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย. 2536. อาหารปลา. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์: กรุงเทพฯ.

วีระพันธ์ สังขมาลย์ และชาลทอง คู่นิยม. 2540. พรรณไม้น้ำ. วารสารเพื่อการพัฒนา 43: 17-31.

ศิริวัฒน์ ดูเจริญไพบูลย์. 2544. การกำจัดสารประกอบไนโตรเจนในตู้เลี้ยงปลาน้ำจืดระบบปิดโดยกระบวนการไนตริฟิเคชั่นและดีไนตริฟิเคชั่น. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศุลีมาศ สุทธิเนียม. 2551. การใช้สาหร่ายขนนก (*Caulerpa sertularioides*) บำบัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม (*Penaeus vannamei*) แบบพัฒนา. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สมรักษ์ รอดเจริญ. 2544. ผลของสาหร่ายในการกำจัดสารประกอบไนโตรเจนในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สมหมาย เชี่ยววารีสัจจะ. 2539. เอกสารคำสอนวิชาการจัดการคุณภาพน้ำ. ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.

สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร. 2541. การผลิตและการค้าปลาสวยงาม. เอกสารเศรษฐกิจการเกษตร ฉบับที่ 30. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สุชาดา ศรีเพ็ญ. 2542. พรรณไม้น้ำในประเทศไทย. ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุภาพร สุกสีเหลือง. 2540. สาหร่ายหางกระรอก: สมุนไพรชนิดใหม่. วารสารวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร 13: 76-80.

สุรศักดิ์ วงศ์กิตติเวช. 2542. คู่มือการเลี้ยงปลาทอง. บริษัทเอมซับพลาย จำกัด, กรุงเทพฯ.

อภิชัย เชียร์ศิริกุล. 2533. การบำบัดน้ำเสียจากที่พักอาศัยด้วยบ่อผักตบชวา. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Ackefors, H. and Enell, M. 1990. Discharge of nutrient from Swedish fish farming to adjacent sea areas. Ambio 119: 28-53.

Alderton, D. 1983. Looking After Aquarium Fish. Pentos Company. London.

Bachand, P. A. M. and Horne, A. J. 1999. Denitrification in constructed free-water surface wetland: II Effect of vegetation and temperature. Ecological Engineering 14: 17-32.

Beveridge, M. C., Phillips, M. J. and Clark, N. M. 1991. A Quantitative and Qualitative Assessment of Waste from Aquatic Animal Production. In: Brune, D. E., Tomasso, J. R. (Eds.) Aquaculture and Water Quality. Advances in World Aquaculture, vol. 3. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA. pp. 506-533.

Boyd. C. E. 1989. Water Quality Management and Aeration in Shrimp Farming. Fisheries and Allied Aquacultures Departmental Series No. 2. Alabama Agricultural Experiment Station. Auburn University. Alabama.

Boyd, C. E. and Tucker, C. S. 1992. Water Quality and Pond Soil Analyses for Aquaculture. Alabama Agricultural Experiment Station. Auburn University. Alabama.

Braaten, B. 1992. Impact of Pollution from Aquaculture in Six Nordic Countries: Release Nutrients Effects, and Waste Water Treatment. In: De Paauw, N. and Joyce, J. (Eds.). Aquaculture and the Environment. EAS Special Publication 1992, No. 16. Gent, Belgium. pp. 79-101.

Brix, H. 1997. Do macrophytes play a role in constructed treatment wetland? Water Science and Technology 35: 11-17.

Buentello, J. A., Gatlin, D. M. and Neill, W. H. 2000. Effects of water temperature and dissolved oxygen on daily feed consumption, feed utilization and growth of channel catfish (*Ictalurus punctatus*). Aquaculture 182: 339-352.

Bunluesin, S., Kruatrachue, M., Pokethitiyook, P., Upatham, S. and Lanza, G. R. 2007. Batch and continuous packed column studies of cadmium biosorption by *Hydrilla verticillata* biomass. Journal of Bioscience and Bioengineering 103: 509-513.

Canfield, D. E., Langeland, K. A., Linda, S. B. and Haller, T. T. 1985. Relations between water transparency and maximum depth of macrophyte colonization in lakes. Journal of Aquatic Plant Management 23: 25–28.

Carmignani, G. M. and Bennett, J. P. 1977. Rapid start-up of a biological filter in a closed aquaculture system. Aquaculture 11: 85-88.

Carr, G.M., Duthie, H.C. and Taylor, W.D. 1997. Model of aquatic plant productivity: A review of the factors that influence growth. Aquatic Botany 59: 195-215.

Cizkova, H. and Bauer, V. l998. Rhizome respiration of *Phragmites australis*: Effect of rhizome age, temperature and nutrient status of habitat. Aquatic Botany 61: 239-253.

Colt, J. 2006. Water quality requirements for reuse systems. Aquacultural Engineering 34: 143-156.

Colt, J. and Tchobanoglous, G. 1978. Chronic exposure of channel catfish, *Ictalurus punctatus*, to ammonia: Effects on growth and survival. Aquaculture 15: 353-372.

De Busk, T. A. and Reddy, K. R. 1987. BOD removal in floating aquatic macrophyte-based wastewater treatment systems. Water Science and Technology 19: 273-279.

Duarte, C. M. and Kalff, J. 1986. Littoral slope as a predictor of maximum biomass of submerged macrophyte communities. Limnology and Oceanography 31: 1072-1080.

Duncan, D. B. 1955. Multiple-range and multiple F test. Biometrics 11: 1-42.

EIFAC (European Inland Fisheries Advisory Commission). 1973. Water quality criteria for European freshwater fish. Report on ammonia and inland fisheries. Water Resources 7: 1011-1022.

Fraser, L. H., Carty, S. and Steer, D. N. 2004. A test of four plant species to reduce total nitrogen and total phosphorus from soil leachate in subsurface wetland microcosms. Bioresource Technology 94: 185-192.

Gafny, S. and Gasith, A. 1999. Spatially and temporally sporadic appearance of macrophytes in the littoral zone of Lake Kinneret, Isreal: Taking advantage of a window of opportunity. Aquatic Botany 62: 249–267.

Gersberg, R. M., Elkins, B. V., Lyon, S. R. and Goldman, C. R. 1986. Role of aquatic plants in wastewater treatment by artificial wetlands. Water Research 20: 363-368.

Ghayl, A. E., Kamal, M. and Mahmound, N. S. 2005. Phytoremediation of aquaculture wastewater for water recycling and production of fish feed. Environmental International 31: 1-13.

Golombieski, J. I., Silva, L. V. S., Baldisserotto, B. and da Silva, J. H. S. 2003. Transport of silver catfish (*Rhamdia quelen*) fingerling at different times, load densities, and temperatures. Aquaculture 216: 95-102.

Grommen, R., Hauteghem, I. V., Wambeke, M. V. And Verstraete, W. 2002. An improved nitrifying enrichment to remove ammonium and nitrite from freshwater aquaria systems. Aquaculture 211: 115-124.

Gu, B. 2006. Environmental conditions and phosphorus removal in Florida lakes and wetlands inhabited by *Hydrilla verticillata* (Royle): Implications for invasive species management. Biological Invasions 8: 1569–1578.

Hammer, D. A. 1989. Constructed Wetland for Wastewater Treatment: Municipal, Industrial and Agricultural. Lewis Publishers. Michigan.

Hammer, D. A. and Bastian, R. K. 1989. Wetlands ecosystems: natural water purifiers? In: Hammer, D. A. (Ed.) Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: Municipal, Industrial and Agricultural. Lewis Publishers. Michigan.

Hargreaves, J. A. and Kucuk, S. 2001. Effects of diel un-ionized ammonia fluctuation on juvenile hybrid striped bass, channel catfish and blue tilapia. Aquaculture 195: 163-181.

Hasan, S. H., Talat, M. and Rai, S. 2007. Sorption of cadmium and zinc from aqueous solutions by water hyacinth (*Eichhornia crassipes*). Bioresource Technology 98: 918-928.

Henry-Silva, G. G., Camago, A. F. M. and Pezzato, M. M. 2008. Growth of free-floating aquatic macrophytes in different concentrations of nutrients. Hydrobiologia 610: 153-160.

Hong, Z., Jiuchang, R. and Xiaoming, C. 1997. The Concept and Measurement of Diurnal Light Compensation Point of Submerged Macrophyte. Center of Environmental Science of Beijing University, National Join Key Laboratory of Environmental Simulation and Pollution Control. China.

Hudon, C., Lalonde, S. and Gagnon, P. 2000. Ranking the effects of site exposure, plant growth form, water depth, and transparency on aquatic plant biomass. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 57: 31–42.

Jacono, C. C. and Richerson, M. M. 2003. *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle. Available from http://nas.er.usgs.gov. Accessed on 6 November 2006.

Keskinkan, O., Goksu, M. Z. L., Basibuyuk, M. and Forster, C. F. 2004. Heavy metal adsorption properties of a submerged aquatic plant (*Ceratophyllum demersum*). Bioresource Technology 92. 197-200.

Koottatep, T. and Polprasert, C. 1997. Role of plant uptake on nitrogen removal in constructed wetlands located in the tropics. Water Science and Technology 36: 1-8.

Landau, M. 1992. Introduction to Aquaculture. John Wiley & Sons Publishers. New York.

Langeland, K.A. 1996. *Hydrilla verticillatal* (L. F.) Royle (Hydrocharitaceae), "The Perfect Weed". Castanea 61: 293-304.

Lewbart, G. A. 1998. Clinical Nutrition of Ornamental Fish. Seminars in Avian and Exotic Pet Medicine 7: 154-158.

Liu, H., Wang, W., Zhang, J. and Wang, X. 2006. Effects of copper and its ethylenediaminetetraacetate complex on the antioxidant defenses of the goldfish, *Carassius auratus*. Ecotoxicology and Environmental Safety 65: 350-354.

Losordo, T, M., Masser, M. P. and Rakocy, J. 1999. Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: A Review of Component options. Southern Regional Aquaculture Center, United States Department of Agriculture. SRAC Publication No. 453.

Madeira, P. T., Van, T. K., Steward, K. K. and Schnell, R. J. 1997. Random amplified polymorphic DNA analysis of the phenetic relationships among world-wide accessions of *Hydrilla verticillata*. Aquatic Botany 59: 217-236.

Mar, R., Mathew, K. and Ho, G. 1999. The role of the submergent macrophyte *Triglochin huegelii* in domestic greywater treatment. Ecological Engineering 13: 57-66.

Naegal, L. C. A. 1977. Combined production of fish and plants in recirculating water. Aquatic Ecology 10: 17-24.

Nagano, K., Kawasaki, T., Ijiri, S., Todo, T., Adachi, S. and Yamauchi, K. 2003. Effects of rearing water quality on expression of brain corticotrophin-releasing hormone and gonadal development in goldfish (*Carassius auratus*). Fish Physiology and Biochemistry 28: 437-438.

Nelson, J. S. 1994. Fishes of the World. 3rd edition: John Wiley and Sons Inc. New York.

Netter, R. 1992. Flow characteristics of planted soil filters. Water Science and Technology 29: 29-36.

Paller, M. H. and Lewis, W. M. 1982. Reciprocating biofilter for water reuse in aquaculture. Aquacultural Engineering 1: 139-159.

Penzes, B. 1986. Goldfish and Ornamental Carp. Barron's Educational Series. Woodbury. New York.

Quillere, I., Marie, D., Roux, D., Gosse, F. and Morot-Gaudry, J. F. 1995. An artificial productive ecosystem based on a fish/bacteria/plant association. 1. Design and management. Agriculture Ecosystem and Environment 47: 13-30.

Rakocy, J. E., Hargreaves, J. A. and Bailey, D. S. 1993. Nutrient Accumulation in a Recirculating Aquaculture System Integrated with Hydroponic Vegetable Production. In: Wang, J. K. (Ed.). Techniques for Modern Aquaculture. Proceedings of a Conference 21-23 June 1993. Spokane, WA. pp. 148-158.

Sampath, N. M. 1994. DIY-CO_2 and "Tetra Bells". Available from http://www.thekrib. com/plants/CO_2/CO_2-level.html. Accessed on 6 November 2006.

Schwarz, A. M., Winton, M.de and Hawes, I. 2002. Species-specific depth zonation in New Zealand charophytes as a function of light availability. Aquatic Botany 72: 209–217.

Scott, P. W. 1996. The Complete Aquarium. Dorling Kindersley. London.

Seawright, D. E., Stickney, R. R. and Walker, R. B. 1998. Nutrient dynamics in integrated aquaculture-hydroponics system. Aquaculture 160: 215-237.

Steinberge, S. L. and Coonrod, H. S. 1994. Oxidation of the root zone by aquatic plant growing in gravel nutrient solution culture. Journal of Environmental Quality 23: 907-913.

Stottmeister, U., Wießner, A., Kuschk, P., Kappelmeyer, U., Kastner, M., Bederski, O., Muller, R.A. and Moormann, H. 2003. Effects of plants and microorganisms in constructed wetlands for wastewater treatment. Biotechnology Advances 22: 93-117.

Stowell, R., Ludwing, R., Golt, J. and Tchobanoglous, G. 1981. Concepts in aquatic treatment system design. Journal of Environmental Engineering Division, ASCE. 107: 919-940.

Sulvucci, M. E. and Bowes, G. 1983. Two photosynthetic mechanisms mediating the low photorespiratory state in submersed aquatic angiosperms. Plant Physiology 73: 488-496.

US EPA (Environmental Protection Agency). 1988. Constructed Wetlands and Aquatic Plant Systems for Municipal Wastewater Treatment: Design Manual. Office of Research and Development, Center of Environmental Research Information, Cincinnati.

Wallsten, M. and Forsgren, P. O. 1989. The effects of increased water levels on aquatic macrophytes. Journal of Aquatic Plant Management 27: 32-37.

Wang, S., Jin, X., Zhao, H., Zhou, X. and Wu, F. 2007. Effects of *Hydrilla verticillata* on phosphorus retention and release in sediments. Water, Air, & Soil Pollution 181: 329-339.

Weisner, S. E. B., Strand, J. A. and Sandsten, H. 1997. Mechanisms regulating abundance of submerged vegetation in shallow eutrophic lakes. Oecologia 109: 592-599.

Wolverton, B. C. and McDonald, R. C. 1978. Nutritional composition of water hyacinths grown on domestic sewage. Economic Botany 32: 363-370.

Wolverton, B. C., Mc Donald, R. C. and Duffer, W. R. 1983. Microorganisms and higher plants for waste water treatment. Journal of Environmental Quality 12: 236-242.

Wungkobkiat, A., Lekcholaryut, T., Kucharoenphaibul, S. and Matsumura, M. 1997. Treatment of Nitrogen Through Nitrification and Denitrification Processes using Immobilized Cell System in Nursery Shrimp Pond and Aquarium Wastewaters: Nitrogenous Compounds Changing under Intensive Culture of *Carassius auratus* (Gold Fish) in Closed System Aquaria. Annual Reports of International Center of Cooperative Research in Biotechnology. Faculty of Engineering, Osaka University. Osaka. Japan.

Yoshitomi, K., Kimura, A., Ozaki, Y., Adachi, S. and Yamauchi, K. 2002. Effects of water quality on physiological functions in goldfish (*Carassius auratus*). Fisheries Science 68: 1012-1013.

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

เอกสารอ้างอิง

กาญจนรี พงษ์ฉวี. 2545. การเพาะพันธุ์ปลาทอง. เข้าถึงได้จาก http://www.nicaonline.com เข้าถึงเมื่อวันที่ 15 พฤศจิกายน 2552.

กาญจนรี พงษ์ฉวี. 2550. การปลูกพรรณไม้น้ำในแปลงเพาะพันธุ์. เข้าถึงได้จาก http://www.nicaonline.com เข้าถึงเมื่อวันที่ 20 พฤศจิกายน 2550.

กิตติ เอกอำพล และสำอาง หอมชื่น. 2530. การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานเยื่อกระดาษโดยใช้กกกลม (*Scirpus muronatus*) และผักตบชวา (*Eichhornia crassipes*). วารสารวิจัยสภาวะแวดล้อม 9: 14-31.

ขนิษฐา เอื้องศิริรัตน์, ปฐมพงษ์ อัปมระกา, ศรีผกา เจริญยศ และวรรณภา นิติมงคลชัย. 2549. ผลของผักตบชวาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในลำห้วยคะคาง เขตเทศบาลเมืองมหาสารคาม. เข้าถึงได้จาก http://kru.trf.or.th เข้าถึงเมื่อวันที่ 20 พฤศจิกายน พ.ศ. 2549.

ข้าวทิพย์ เจนธุรกิจ และพิมล เรียนวัฒนา. 2533. การนำผักตบชวา (*Eichhornia crassipes*) มาใช้ในการลดปริมาณโลหะหนักในน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรม. วารสารการอนามัยและสิ่งแวดล้อม 13: 49-70.

จิรวัช ช่วยรอดหมด. 2550. ประสิทธิภาพของระบบกรองชีวภาพเพื่อการเลี้ยงปลาในตู้ระบบปิด. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ช่อทิพย์ อาธารมาศ. 2531. พรรณไม้น้ำของไทย. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา.

ชัชชาย แจ่มใส. 2538. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียขั้นสุดท้ายของวัชพืชน้ำที่จมและลอย. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ชาติ ไชยณรงค์. 2534. ปลาทอง. ฐานเกษตรกรรม. กรุงเทพฯ.

ชีวิน อรรถสาสน์, วิวัฒน์ เรืองเลิศปัญญากุล และปิยะบุตร วานิชพงษ์พันธุ์. 2545. การบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งด้วยกระบวนการทางชีวภาพ. รายงานการประชุมวิชาการกุ้งทะเลแห่งชาติ ประจำปี 2545 ณ ศูนย์ประชุมริมทะเล ระยองรีสอร์ท จังหวัดระยอง 18-19 พฤศจิกายน 2545 หน้า 188-197.

ณัฏฐา หังสพฤกษ์, บัณฑิต อนุรักษ์, มุกดา สุขสมาน และศิริพรรณ ทวีสุข. 2536. การทดลองเบื้องต้นของการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานทอผ้า โดยใช้ผักตบชวา ธูปฤาษี และสาหร่ายเส้นด้าย. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 1: 30-42.

ดารารัตน์ ชูสวัสดิ์. 2547. การศึกษาคุณลักษณะของสารฟูคอยแดนจากสาหร่ายข้าวเหนียว. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ตุลฮาบ หวังสุข. 2549. บัญญัติ 10 ประการของปลาทอง. นิตยสารคุณภาพคนรักปลา 5: 74-78.

ธงชัย ขนาบแก้ว และอุดมผล พืชน์ไพบูลย์. 2547. การบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยใช้ระบบบ่อร่วมกับพืชน้ำ: บัวหลวงและสาหร่ายหางกระรอก. วารสารสงขลานครินทร์ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 26: 749-756.

ธัญลักษณ์ แต่บรรพกุล. 2539. ประสิทธิภาพของดีปลีน้ำ และสาหร่ายหางกระรอก ในการบำบัดน้ำเสียจากชุมชน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นงนุช เลาหะวิสุทธิ์. 2544. ระบบการเลี้ยงปลาสวยงามร่วมกับการปลูกพรรณไม้น้ำแบบไร้ดินในระบบปิด. วารสารเคหะการเกษตร 25: 205-215.

นันทิมา สุทธิวรรณกุล. 2546. ผลของการปลูกพรรณไม้น้ำร่วมกับการเลี้ยงปลาในระบบต่าง ๆ ที่มีต่อผลผลิตและคุณภาพน้ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

บุญมา กรายไทยสงค์. 2548. การบำบัดน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยบูรพา.

ประเทือง เชาว์วันกลาง. 2534. คุณภาพน้ำทางการประมง. หจก. สำนักพิมพ์ฟิสิกส์ เซ็นเตอร์, กรุงเทพฯ.

ประวิทย์ สุรนีรนาถ. 2550. พรรณไม้น้ำในประเทศไทย. เข้าถึงได้จาก http://www.ku.ac.th/AgrInfo/thaifish/aqplant/ เข้าถึงเมื่อวันที่ 20 เมษายน 2550.

ผกามาศ ออมสิน, ภาคสกร รักกลัด และยุพิน พูนดี. 2548. การจัดการคุณภาพน้ำในการเลี้ยงปลานิลแดงโดยระบบหมุนเวียนน้ำผ่านบึงประดิษฐ์. สารนิพนธ์การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยนเรศวร.

พรชัย เหลืองอาภาพงศ์. 2540. วัชพืชศาสตร์. วี.บี. บุ๊คเซ็นเตอร์ (เค.ยู.), กรุงเทพฯ.

พรเลิศ จันทร์รัชชกูล, เจ เอฟ เทอร์นบอล และชะลอ ลิ้มสุวรรณ. 2537. คู่มือการเลี้ยงและการป้องกันโรคกุ้งกุลาดำ. สถาบันวิจัยสุขภาพสัตว์น้ำ กรมประมง, กรุงเทพฯ.

พัฒนี จันทรโรทัย. 2536. ข้อพิจารณาในการใช้พืชน้ำปรับปรุงคุณภาพน้ำ. วารสารวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 11: 154-157.

พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย และพันธวัศ สัมพันธ์พานิช. 2550. การกำจัดโครเมียมโดยใช้พืชน้ำ. วารสารวิจัยสภาวะแวดล้อม 29: 69-80.

เพ็ญชุดา ปัญญาวานิชกุล. 2546. การบำบัดน้ำเสียโดยใช้ต้นเตย ตาลปัตรฤาษี และแว่นแก้ว ในระบบบึงประดิษฐ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

เพลินจิต ทมทิตชงค์, สนธิ คชวัฒน์ และศักดิ์สิทธิ์ ตรีเดช. 2530. ประสิทธิภาพของผักตบชวาในการกำจัดโลหะหนัก แคดเมียม ทองแดง ตะกั่ว. วารสารวิจัยสภาวะแวดล้อม 9: 1-31.

ไพรพรรณ เทียนทอง, โสภา อารีรัตน์ และสุชาติ อิงธรรมจิตร์. 2535. การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำ แพลงก์ตอนพืช และแบคทีเรียในบ่อเลี้ยงปลาดุก. สถาบันวิจัยประมงน้ำจืด กรมประมง. หน้า 243-254.

ไพโรจน์ พรหมานนท์. 2541. การเพาะพันธุ์สาหร่ายวุ้นโดยใช้เปลือกหอยรองรับการเกาะของสปอร์. วารสารการประมง 51: 307-318.

มณีรัตน์ หวังวิบูลย์กิจ. 2547. เทคนิคการจัดตู้ปลาและพรรณไม้น้ำ. สถาบันวิจัยและพัฒนาทรัพยากรประมงน้ำจืด. สำนักวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด กรมประมง, กรุงเทพฯ.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และไพพรรณ พรประภา. 2539. การจัดการคุณภาพน้ำและการบำบัดน้ำเสียในบ่อเลี้ยงปลาและสัตว์น้ำอื่น ๆ. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

มารุต ไหลสกุล. 2546. การกำจัดตะกั่วในน้ำเสียโดยสาหร่ายอบแห้ง *Sagassum polycystum* และ *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle. วิทยานิพนธ์ปริญญาสาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

มุกดา สุขสมาน. 2532. การทดลองเบื้องต้นของการกำจัดน้ำเสียจากโรงงานทอผ้าย่านรังสิตโดยใช้ผักตบชวา ธูปฤาษี และสาหร่าย. รายงานการรวบรวมรายงานทางวิชาการเรื่องการบำบัดและการกำจัดน้ำเสีย. เล่ม 2 ศูนย์อนามัยสิ่งแวดล้อมเขต 6 ขอนแก่น. กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, กรุงเทพฯ.

ไมตรี ดวงสวัสดิ์ และจารุวรรณ สมศิริ. 2528. คุณสมบัติของน้ำและวิธีวิเคราะห์สำหรับการวิจัยทางการประมง. ฝ่ายวิจัยสิ่งแวดล้อมสัตว์น้ำ สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ กรมประมง, กรุงเทพ ฯ.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2543. ธาตุอาหารพืช. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

เรียม เดชะโสภณมณี. 2530. ผักตบชวาและประโยชน์ในการปรับปรุงน้ำเสีย. จุลสารสภาวะแวดล้อม 6: 23-35.

วันเพ็ญ มีนกาญจน์ และกาญจนรี พงษ์ฉวี. 2543. พรรณไม้น้ำสวยงาม. สถาบันวิจัยสัตว์น้ำสวยงามและสถานแสดงพันธุ์สัตว์น้ำ. กรมประมง.

วันเพ็ญ มีนกาญจน์, กาญจนา จิรพันธ์พิพัฒน์ และพิสิฐ ภูมิคง. 2543. การเพาะเลี้ยงปลาทอง. สถาบันวิจัยสัตว์น้ำสวยงามและสถานแสดงพันธุ์สัตว์น้ำ. กรมประมง.

วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย. 2536. อาหารปลา. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์: กรุงเทพฯ.

วีระพันธ์ สังขมาลย์ และชาลทอง คู่นิยม. 2540. พรรณไม้น้ำ. วารสารเพื่อการพัฒนา 43: 17-31.

ศิริวัฒน์ ดูเจริญไพบูลย์. 2544. การกำจัดสารประกอบไนโตรเจนในตู้เลี้ยงปลาน้ำจืดระบบปิดโดยกระบวนการไนตริฟิเคชั่นและดีไนตริฟิเคชั่น. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศุลีมาศ สุทธิเนียม. 2551. การใช้สาหร่ายขนนก (*Caulerpa sertularioides*) บำบัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม (*Penaeus vannamei*) แบบพัฒนา. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สมรักษ์ รอดเจริญ. 2544. ผลของสาหร่ายในการกำจัดสารประกอบไนโตรเจนในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สมหมาย เชี่ยววารีสัจจะ. 2539. เอกสารคำสอนวิชาการจัดการคุณภาพน้ำ. ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.

สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร. 2541. การผลิตและการค้าปลาสวยงาม. เอกสารเศรษฐกิจการเกษตร ฉบับที่ 30. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สุชาดา ศรีเพ็ญ. 2542. พรรณไม้น้ำในประเทศไทย. ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุภาพร สุกสีเหลือง. 2540. สาหร่ายหางกระรอก: สมุนไพรชนิดใหม่. วารสารวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร 13: 76-80.

สุรศักดิ์ วงศ์กิตติเวช. 2542. คู่มือการเลี้ยงปลาทอง. บริษัทเอมซับพลาย จำกัด, กรุงเทพฯ.

อภิชัย เชียร์ศิริกุล. 2533. การบำบัดน้ำเสียจากที่พักอาศัยด้วยบ่อผักตบชวา. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Ackefors, H. and Enell, M. 1990. Discharge of nutrient from Swedish fish farming to adjacent sea areas. Ambio 119: 28-53.

Alderton, D. 1983. Looking After Aquarium Fish. Pentos Company. London.

Bachand, P. A. M. and Horne, A. J. 1999. Denitrification in constructed free-water surface wetland: II Effect of vegetation and temperature. Ecological Engineering 14: 17-32.

Beveridge, M. C., Phillips, M. J. and Clark, N. M. 1991. A Quantitative and Qualitative Assessment of Waste from Aquatic Animal Production. In: Brune, D. E., Tomasso, J. R. (Eds.) Aquaculture and Water Quality. Advances in World Aquaculture, vol. 3. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA. pp. 506-533.

Boyd. C. E. 1989. Water Quality Management and Aeration in Shrimp Farming. Fisheries and Allied Aquacultures Departmental Series No. 2. Alabama Agricultural Experiment Station. Auburn University. Alabama.

Boyd, C. E. and Tucker, C. S. 1992. Water Quality and Pond Soil Analyses for Aquaculture. Alabama Agricultural Experiment Station. Auburn University. Alabama.

Braaten, B. 1992. Impact of Pollution from Aquaculture in Six Nordic Countries: Release Nutrients Effects, and Waste Water Treatment. In: De Paauw, N. and Joyce, J. (Eds.). Aquaculture and the Environment. EAS Special Publication 1992, No. 16. Gent, Belgium. pp. 79-101.

Brix, H. 1997. Do macrophytes play a role in constructed treatment wetland? Water Science and Technology 35: 11-17.

Buentello, J. A., Gatlin, D. M. and Neill, W. H. 2000. Effects of water temperature and dissolved oxygen on daily feed consumption, feed utilization and growth of channel catfish (*Ictalurus punctatus*). Aquaculture 182: 339-352.

Bunluesin, S., Kruatrachue, M., Pokethitiyook, P., Upatham, S. and Lanza, G. R. 2007. Batch and continuous packed column studies of cadmium biosorption by *Hydrilla verticillata* biomass. Journal of Bioscience and Bioengineering 103: 509-513.

Canfield, D. E., Langeland, K. A., Linda, S. B. and Haller, T. T. 1985. Relations between water transparency and maximum depth of macrophyte colonization in lakes. Journal of Aquatic Plant Management 23: 25–28.

Carmignani, G. M. and Bennett, J. P. 1977. Rapid start-up of a biological filter in a closed aquaculture system. Aquaculture 11: 85-88.

Carr, G.M., Duthie, H.C. and Taylor, W.D. 1997. Model of aquatic plant productivity: A review of the factors that influence growth. Aquatic Botany 59: 195-215.

Cizkova, H. and Bauer, V. l998. Rhizome respiration of *Phragmites australis*: Effect of rhizome age, temperature and nutrient status of habitat. Aquatic Botany 61: 239-253.

Colt, J. 2006. Water quality requirements for reuse systems. Aquacultural Engineering 34: 143-156.

Colt, J. and Tchobanoglous, G. 1978. Chronic exposure of channel catfish, *Ictalurus punctatus*, to ammonia: Effects on growth and survival. Aquaculture 15: 353-372.

De Busk, T. A. and Reddy, K. R. 1987. BOD removal in floating aquatic macrophyte-based wastewater treatment systems. Water Science and Technology 19: 273-279.

Duarte, C. M. and Kalff, J. 1986. Littoral slope as a predictor of maximum biomass of submerged macrophyte communities. Limnology and Oceanography 31: 1072-1080.

Duncan, D. B. 1955. Multiple-range and multiple F test. Biometrics 11: 1-42.

EIFAC (European Inland Fisheries Advisory Commission). 1973. Water quality criteria for European freshwater fish. Report on ammonia and inland fisheries. Water Resources 7: 1011-1022.

Fraser, L. H., Carty, S. and Steer, D. N. 2004. A test of four plant species to reduce total nitrogen and total phosphorus from soil leachate in subsurface wetland microcosms. Bioresource Technology 94: 185-192.

Gafny, S. and Gasith, A. 1999. Spatially and temporally sporadic appearance of macrophytes in the littoral zone of Lake Kinneret, Isreal: Taking advantage of a window of opportunity. Aquatic Botany 62: 249–267.

Gersberg, R. M., Elkins, B. V., Lyon, S. R. and Goldman, C. R. 1986. Role of aquatic plants in wastewater treatment by artificial wetlands. Water Research 20: 363-368.

Ghayl, A. E., Kamal, M. and Mahmound, N. S. 2005. Phytoremediation of aquaculture wastewater for water recycling and production of fish feed. Environmental International 31: 1-13.

Golombieski, J. I., Silva, L. V. S., Baldisserotto, B. and da Silva, J. H. S. 2003. Transport of silver catfish (*Rhamdia quelen*) fingerling at different times, load densities, and temperatures. Aquaculture 216: 95-102.

Grommen, R., Hauteghem, I. V., Wambeke, M. V. And Verstraete, W. 2002. An improved nitrifying enrichment to remove ammonium and nitrite from freshwater aquaria systems. Aquaculture 211: 115-124.

Gu, B. 2006. Environmental conditions and phosphorus removal in Florida lakes and wetlands inhabited by *Hydrilla verticillata* (Royle): Implications for invasive species management. Biological Invasions 8: 1569–1578.

Hammer, D. A. 1989. Constructed Wetland for Wastewater Treatment: Municipal, Industrial and Agricultural. Lewis Publishers. Michigan.

Hammer, D. A. and Bastian, R. K. 1989. Wetlands ecosystems: natural water purifiers? In: Hammer, D. A. (Ed.) Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: Municipal, Industrial and Agricultural. Lewis Publishers. Michigan.

Hargreaves, J. A. and Kucuk, S. 2001. Effects of diel un-ionized ammonia fluctuation on juvenile hybrid striped bass, channel catfish and blue tilapia. Aquaculture 195: 163-181.

Hasan, S. H., Talat, M. and Rai, S. 2007. Sorption of cadmium and zinc from aqueous solutions by water hyacinth (*Eichhornia crassipes*). Bioresource Technology 98: 918-928.

Henry-Silva, G. G., Camago, A. F. M. and Pezzato, M. M. 2008. Growth of free-floating aquatic macrophytes in different concentrations of nutrients. Hydrobiologia 610: 153-160.

Hong, Z., Jiuchang, R. and Xiaoming, C. 1997. The Concept and Measurement of Diurnal Light Compensation Point of Submerged Macrophyte. Center of Environmental Science of Beijing University, National Join Key Laboratory of Environmental Simulation and Pollution Control. China.

Hudon, C., Lalonde, S. and Gagnon, P. 2000. Ranking the effects of site exposure, plant growth form, water depth, and transparency on aquatic plant biomass. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 57: 31–42.

Jacono, C. C. and Richerson, M. M. 2003. *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle. Available from http://nas.er.usgs.gov. Accessed on 6 November 2006.

Keskinkan, O., Goksu, M. Z. L., Basibuyuk, M. and Forster, C. F. 2004. Heavy metal adsorption properties of a submerged aquatic plant (*Ceratophyllum demersum*). Bioresource Technology 92. 197-200.

Koottatep, T. and Polprasert, C. 1997. Role of plant uptake on nitrogen removal in constructed wetlands located in the tropics. Water Science and Technology 36: 1-8.

Landau, M. 1992. Introduction to Aquaculture. John Wiley & Sons Publishers. New York.

Langeland, K.A. 1996. *Hydrilla verticillatal* (L. F.) Royle (Hydrocharitaceae), "The Perfect Weed". Castanea 61: 293-304.

Lewbart, G. A. 1998. Clinical Nutrition of Ornamental Fish. Seminars in Avian and Exotic Pet Medicine 7: 154-158.

Liu, H., Wang, W., Zhang, J. and Wang, X. 2006. Effects of copper and its ethylenediaminetetraacetate complex on the antioxidant defenses of the goldfish, *Carassius auratus*. Ecotoxicology and Environmental Safety 65: 350-354.

Losordo, T, M., Masser, M. P. and Rakocy, J. 1999. Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: A Review of Component options. Southern Regional Aquaculture Center, United States Department of Agriculture. SRAC Publication No. 453.

Madeira, P. T., Van, T. K., Steward, K. K. and Schnell, R. J. 1997. Random amplified polymorphic DNA analysis of the phenetic relationships among world-wide accessions of *Hydrilla verticillata*. Aquatic Botany 59: 217-236.

Mar, R., Mathew, K. and Ho, G. 1999. The role of the submergent macrophyte *Triglochin huegelii* in domestic greywater treatment. Ecological Engineering 13: 57-66.

Naegal, L. C. A. 1977. Combined production of fish and plants in recirculating water. Aquatic Ecology 10: 17-24.

Nagano, K., Kawasaki, T., Ijiri, S., Todo, T., Adachi, S. and Yamauchi, K. 2003. Effects of rearing water quality on expression of brain corticotrophin-releasing hormone and gonadal development in goldfish (*Carassius auratus*). Fish Physiology and Biochemistry 28: 437-438.

Nelson, J. S. 1994. Fishes of the World. 3rd edition: John Wiley and Sons Inc. New York.

Netter, R. 1992. Flow characteristics of planted soil filters. Water Science and Technology 29: 29-36.

Paller, M. H. and Lewis, W. M. 1982. Reciprocating biofilter for water reuse in aquaculture. Aquacultural Engineering 1: 139-159.

Penzes, B. 1986. Goldfish and Ornamental Carp. Barron's Educational Series. Woodbury. New York.

Quillere, I., Marie, D., Roux, D., Gosse, F. and Morot-Gaudry, J. F. 1995. An artificial productive ecosystem based on a fish/bacteria/plant association. 1. Design and management. Agriculture Ecosystem and Environment 47: 13-30.

Rakocy, J. E., Hargreaves, J. A. and Bailey, D. S. 1993. Nutrient Accumulation in a Recirculating Aquaculture System Integrated with Hydroponic Vegetable Production. In: Wang, J. K. (Ed.). Techniques for Modern Aquaculture. Proceedings of a Conference 21-23 June 1993. Spokane, WA. pp. 148-158.

Sampath, N. M. 1994. DIY-CO_2 and "Tetra Bells". Available from http://www.thekrib. com/plants/CO_2/CO_2-level.html. Accessed on 6 November 2006.

Schwarz, A. M., Winton, M.de and Hawes, I. 2002. Species-specific depth zonation in New Zealand charophytes as a function of light availability. Aquatic Botany 72: 209–217.

Scott, P. W. 1996. The Complete Aquarium. Dorling Kindersley. London.

Seawright, D. E., Stickney, R. R. and Walker, R. B. 1998. Nutrient dynamics in integrated aquaculture-hydroponics system. Aquaculture 160: 215-237.

Steinberge, S. L. and Coonrod, H. S. 1994. Oxidation of the root zone by aquatic plant growing in gravel nutrient solution culture. Journal of Environmental Quality 23: 907-913.

Stottmeister, U., Wießner, A., Kuschk, P., Kappelmeyer, U., Kastner, M., Bederski, O., Muller, R.A. and Moormann, H. 2003. Effects of plants and microorganisms in constructed wetlands for wastewater treatment. Biotechnology Advances 22: 93-117.

Stowell, R., Ludwing, R., Golt, J. and Tchobanoglous, G. 1981. Concepts in aquatic treatment system design. Journal of Environmental Engineering Division, ASCE. 107: 919-940.

Sulvucci, M. E. and Bowes, G. 1983. Two photosynthetic mechanisms mediating the low photorespiratory state in submersed aquatic angiosperms. Plant Physiology 73: 488-496.

US EPA (Environmental Protection Agency). 1988. Constructed Wetlands and Aquatic Plant Systems for Municipal Wastewater Treatment: Design Manual. Office of Research and Development, Center of Environmental Research Information, Cincinnati.

Wallsten, M. and Forsgren, P. O. 1989. The effects of increased water levels on aquatic macrophytes. Journal of Aquatic Plant Management 27: 32-37.

Wang, S., Jin, X., Zhao, H., Zhou, X. and Wu, F. 2007. Effects of *Hydrilla verticillata* on phosphorus retention and release in sediments. Water, Air, & Soil Pollution 181: 329-339.

Weisner, S. E. B., Strand, J. A. and Sandsten, H. 1997. Mechanisms regulating abundance of submerged vegetation in shallow eutrophic lakes. Oecologia 109: 592-599.

Wolverton, B. C. and McDonald, R. C. 1978. Nutritional composition of water hyacinths grown on domestic sewage. Economic Botany 32: 363-370.

Wolverton, B. C., Mc Donald, R. C. and Duffer, W. R. 1983. Microorganisms and higher plants for waste water treatment. Journal of Environmental Quality 12: 236-242.

Wungkobkiat, A., Lekcholaryut, T., Kucharoenphaibul, S. and Matsumura, M. 1997. Treatment of Nitrogen Through Nitrification and Denitrification Processes using Immobilized Cell System in Nursery Shrimp Pond and Aquarium Wastewaters: Nitrogenous Compounds Changing under Intensive Culture of *Carassius auratus* (Gold Fish) in Closed System Aquaria. Annual Reports of International Center of Cooperative Research in Biotechnology. Faculty of Engineering, Osaka University. Osaka. Japan.

Yoshitomi, K., Kimura, A., Ozaki, Y., Adachi, S. and Yamauchi, K. 2002. Effects of water quality on physiological functions in goldfish (*Carassius auratus*). Fisheries Science 68: 1012-1013.

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

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ตารางผลการทดลอง

ตารางภาคผนวกที่ 1 ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (มก./ล.) ที่ตรวจวัดได้ในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองด้วยพืชน้ำ 3 ชนิดที่ความหนาแน่น 2.5 ก./ล. ในช่วงระยะเวลา 5 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3)

ชุดการทดลอง	ระยะเวลาการทดลอง (วัน)					
	0	1	2	3	4	5
ชุดควบคุม	0.543±0.013[a]	0.430±0.011[a]	0.375±0.004[a]	0.317±0.008[a]	0.264±0.004[a]	0.246±0.002[a]
ชุดสาหร่ายหางกระรอก	0.545±0.008[a]	0.366±0.009[b]	0.326±0.010[b]	0.276±0.005[b]	0.243±0.006[b]	0.225±0.005[b]
ชุดสาหร่ายพุงชะโด	0.542±0.002[a]	0.339±0.004[c]	0.303±0.010[a]	0.261±0.007[c]	0.273±0.004[b]	0.207±0.005[c]
ชุดสาหร่ายข้าวเหนียว	0.545±0.002[a]	0.322±0.006[d]	0.292±0.001[c]	0.248±0.004[d]	0.223±0.007[c]	0.196±0.002[d]

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในระยะเวลาเดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ 2 ปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจน (มก./ล.) ที่ตรวจวัดได้ในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองด้วยพืชน้ำ 3 ชนิดที่ความหนาแน่น 2.5 ก./ล. ในช่วงระยะเวลา 5 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3)

ชุดการทดลอง	ระยะเวลาการทดลอง (วัน)					
	0	1	2	3	4	5
ชุดควบคุม	0.846±0.030[a]	0.397±0.018[a]	0.371±0.004[a]	0.325±0.006[a]	0.304±0.007[a]	0.274±0.006[a]
ชุดสาหร่ายหางกระรอก	0.829±0.012[a]	0.289±0.008[b]	0.263±0.011[b]	0.228±0.005[b]	0.207±0.003[b]	0.194±0.005[b]
ชุดสาหร่ายพุงชะโด	0.827±0.028[a]	0.316±0.006[c]	0.292±0.011[c]	0.252±0.005[c]	0.226±0.005[c]	0.215±0.007[c]
ชุดสาหร่ายข้าวเหนียว	0.820±0.019[a]	0.289±0.003[b]	0.244±0.003[d]	0.221±0.011[b]	0.207±0.003[b]	0.195±0.005[b]

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในระยะเวลาเดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ 3 ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน (มก./ล.) ที่ตรวจวัดได้ในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองด้วยพืชน้ำ 3 ชนิดที่ความหนาแน่น 2.5 ก./ล. ในช่วงระยะเวลา 5 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3)

ชุดการทดลอง	ระยะเวลาการทดลอง (วัน)					
	0	1	2	3	4	5
ชุดควบคุม	2.005±0.070[a]	1.712±0.076[a]	1.647±0.064[a]	1.584±0.068[a]	1.520±0.052[a]	1.473±0.049[a]
ชุดสาหร่ายหางกระรอก	1.904±0.014[a]	1.405±0.097[b]	1.230±0.061[b]	1.034±0.026[b]	1.002±0.017[b]	0.969±0.015[b]
ชุดสาหร่ายพุงชะโด	1.958±0.054[a]	1.483±0.051[b]	1.365±0.010[c]	1.180±0.009[c]	0.971±0.005[bc]	0.888±0.011[c]
ชุดสาหร่ายข้าวเหนียว	1.961±0.062[a]	1.443±0.063[b]	1.311±0.029[bc]	1.170±0.009[c]	0.942±0.009[c]	0.864±0.013[c]

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในระยะเวลาเดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ 4 ปริมาณออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส (มก./ล.) ที่ตรวจวัดได้ในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองด้วยพืชน้ำ 3 ชนิดที่ความหนาแน่น 2.5 ก./ล.ในช่วงระยะเวลา 5 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3)

ชุดการทดลอง	ระยะเวลาการทดลอง (วัน)					
	0	1	2	3	4	5
ชุดควบคุม	0.256±0.005[a]	0.170±0.003[a]	0.151±0.006[a]	0.138±0.002[a]	0.125±0.003[a]	0.105±0.005[a]
ชุดสาหร่ายหางกระรอก	0.263±0.005[a]	0.121±0.003[b]	0.108±0.003[b]	0.094±0.005[b]	0.089±0.003[b]	0.080±0.005[b]
ชุดสาหร่ายพุงชะโด	0.260±0.005[a]	0.115±0.005[b]	0.098±0.003[c]	0.090±0.002[b]	0.085±0.002[b]	0.074±0.001[b]
ชุดสาหร่ายข้าวเหนียว	0.264±0.006[a]	0.106±0.000[c]	0.085±0.002[d]	0.074±0.004[c]	0.063±0.003[c]	0.052±0.003[c]

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในระยะเวลาเดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ 5 ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (%) ที่ตรวจวัดได้ในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองด้วยพืชน้ำ 3 ชนิดที่ความหนาแน่น 2.5 ก./ล.ในช่วงระยะเวลา 5 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3)

ชุดการทดลอง	ระยะเวลาการทดลอง (วัน)				
	1	2	3	4	5
ชุดสาหร่ายหางกระรอก	**11.98±2.18**[a]	9.18±3.14[a]	7.77±2.08[a]	3.97±1.12[a]	4.15±0.50[a]
ชุดสาหร่ายพุงชะโด	**16.47±1.13**[b]	12.83±1.50[ab]	9.98±1.66[ab]	4.66±1.14[a]	6.83±1.29[b]
ชุดสาหร่ายข้าวเหนียว	**20.13±1.36**[c]	15.53±0.43[b]	12.92±0.41[b]	7.77±1.10[b]	9.45±0.35[c]

ตารางภาคผนวกที่ 6 ประสิทธิภาพการบำบัดไนไตรท์-ไนโตรเจน (%) ที่ตรวจวัดได้ในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองด้วยพืชน้ำ 3 ชนิดที่ความหนาแน่น 2.5 ก./ล. ในช่วงระยะเวลา 5 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3)

ชุดการทดลอง	ระยะเวลาการทดลอง (วัน)				
	1	2	3	4	5
ชุดสาหร่ายหางกระรอก	46.57±1.52[a]	65.12±1.60[a]	66.91±0.55[a]	72.57±0.56[a]	**72.96±0.99**[a]
ชุดสาหร่ายพุงชะโด	43.19±2.29[a]	61.52±1.93[b]	63.84±1.83[b]	70.13±1.59[b]	**70.32±1.78**[a]
ชุดสาหร่ายข้าวเหนียว	46.03±1.32[a]	67.08±0.54[a]	67.40±1.83[a]	72.27±0.79[ab]	**72.46±1.04**[a]

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในระยะเวลาเดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และค่าที่พิมพ์ตัวหนาเป็นค่าสูงที่สุดของแต่ละชุดการทดลอง

ตารางภาคผนวกที่ 7 ประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรท-ไนโตรเจน (%) ที่ตรวจวัดได้ในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองด้วยพืชน้ำ 3 ชนิดที่ความหนาแน่น 2.5 ก./ล. ในช่วงระยะเวลา 5 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3)

ชุดการทดลอง	ระยะเวลาการทดลอง (วัน)				
	1	2	3	4	5
ชุดสาหร่ายหางกระรอก	10.85±4.69[a]	16.61±3.42[a]	**23.53±0.81[a]**	21.85±0.36[a]	21.16±0.51[a]
ชุดสาหร่ายพุงชะโด	9.31±2.11[a]	11.96±2.14[a]	18.15±2.46[b]	25.57±1.81[ab]	**27.46±1.51[b]**
ชุดสาหร่ายข้าวเหนียว	11.47±3.17[a]	14.38±3.14[a]	18.81±2.25[b]	27.15±2.67[b]	**28.78±2.89[b]**

ตารางภาคผนวกที่ 8 ประสิทธิภาพการบำบัดออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส (%) ที่ตรวจวัดได้ในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองด้วยพืชน้ำ 3 ชนิดที่ความหนาแน่น 2.5 ก./ล. ในช่วงระยะเวลา 5 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3)

ชุดการทดลอง	ระยะเวลาการทดลอง (วัน)				
	1	2	3	4	5
ชุดสาหร่ายหางกระรอก	**21.28±0.54[a]**	18.91±1.40[a]	19.27±3.30[a]	16.09±2.54[a]	12.24±2.96[a]
ชุดสาหร่ายพุงชะโด	**22.54±3.10[a]**	21.66±2.61[a]	19.85±2.14[a]	16.91±2.25[a]	13.54±2.15[a]
ชุดสาหร่ายข้าวเหนียว	27.21±1.63[b]	**27.62±1.08[b]**	27.14±0.69[b]	26.34±0.30[b]	23.33±0.53[b]

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในระยะเวลาเดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และค่าที่พิมพ์ตัวหนาเป็นค่าสูงที่สุดของแต่ละชุดการทดลอง

ตารางภาคผนวกที่ 9 อัตราการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (มก./ก.น้ำหนักสด/วัน) ในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองด้วยพืชน้ำ 3 ชนิดที่ความหนาแน่น 2.5 ก./ล. ในช่วงระยะเวลา 5 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3)

ชุดการทดลอง	ระยะเวลาการทดลอง (วัน)				
	1	2	3	4	5
ชุดสาหร่ายหางกระรอก	0.178±0.012[a]	0.219±0.018[a]	0.269±0.012[a]	0.301±0.006[a]	**0.320±0.003[a]**
ชุดสาหร่ายพุงชะโด	0.202±0.006[b]	0.238±0.008[ab]	0.280±0.009[ab]	0.305±0.006[a]	**0.334±0.007[b]**
ชุดสาหร่ายข้าวเหนียว	0.223±0.008[c]	0.253±0.003[b]	0.297±0.002[b]	0.322±0.006[b]	**0.349±0.002[c]**

ตารางภาคผนวกที่ 10 อัตราการดูดซับไนไตรท์-ไนโตรเจน (มก./ก.น้ำหนักสด/วัน) ในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองด้วยพืชน้ำ 3 ชนิดที่ความหนาแน่น 2.5 ก./ล. ในช่วงระยะเวลา 5 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3)

ชุดการทดลอง	ระยะเวลาการทดลอง (วัน)				
	1	2	3	4	5
ชุดสาหร่ายหางกระรอก	0.538±0.017[a]	0.566±0.019[a]	0.601±0.010[a]	0.622±0.013[a]	**0.635±0.017[a]**
ชุดสาหร่ายพุงชะโด	0.509±0.031[a]	0.535±0.031[a]	0.574±0.033[a]	0.600±0.033[a]	**0.612±0.034[a]**
ชุดสาหร่ายข้าวเหนียว	0.530±0.019[a]	0.576±0.017[a]	0.592±0.024[a]	0.613±0.020[a]	**0.624±0.021[a]**

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในระยะเวลาเดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และค่าที่พิมพ์ตัวหนาเป็นค่าสูงที่สุดของแต่ละชุดการทดลอง

ตารางภาคผนวกที่ 11 อัตราการดูดซับไนเตรท-ไนโตรเจน (มก./ก.น้ำหนักสด/วัน) ในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองด้วยพืชน้ำ 3 ชนิดที่ความหนาแน่น 2.5 ก./ล. ในช่วงระยะเวลา 5 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3)

ชุดการทดลอง	ระยะเวลาการทดลอง (วัน)				
	1	2	3	4	5
ชุดสาหร่ายหางกระรอก	0.495±0.088[a]	0.669±0.069[a]	0.863±0.007[a]	0.895±0.004[a]	**0.928±0.011[a]**
ชุดสาหร่ายพุงชะโด	0.470±0.043[a]	0.586±0.048[a]	0.769±0.057[a]	0.976±0.050[ab]	**1.058±0.045[b]**
ชุดสาหร่ายข้าวเหนียว	0.513±0.067[a]	0.643±0.071[a]	0.783±0.056[a]	1.006±0.069[b]	**1.085±0.075[b]**

ตารางภาคผนวกที่ 12 อัตราการดูดซับออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส (มก./ก.น้ำหนักสด/วัน) ในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองด้วยพืชน้ำ 3 ชนิดที่ความหนาแน่น 2.5 ก./ล. ในช่วงระยะเวลา 5 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3)

ชุดการทดลอง	ระยะเวลาการทดลอง (วัน)				
	1	2	3	4	5
ชุดสาหร่ายหางกระรอก	0.142±0.002[a]	0.155±0.004[a]	0.169±0.009[a]	0.173±0.007[a]	**0.183±0.008[a]**
ชุดสาหร่ายพุงชะโด	0.145±0.009[b]	0.162±0.008[a]	0.170±0.007[a]	0.175±0.007[a]	**0.186±0.006[a]**
ชุดสาหร่ายข้าวเหนียว	0.158±0.006[b]	0.178±0.004[b]	0.190±0.003[b]	0.201±0.002[b]	**0.212±0.003[b]**

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในระยะเวลาเดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และค่าที่พิมพ์ตัวหนาเป็นค่าสูงที่สุดของแต่ละชุดการทดลอง

ตารางภาคผนวกที่ 13 ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (มก./ล.) ที่ตรวจวัดได้ในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองด้วยสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 0, 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. ในช่วงระยะเวลา 5 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3)

ความหนาแน่นของสาหร่ายข้าวเหนียว (ก./ล.)	ระยะเวลาการทดลอง (วัน)					
	0	1	2	3	4	5
0.0	0.403±0.012[a]	0.284±0.007[a]	0.270±0.003[a]	0.251±0.007[a]	0.223±0.006[a]	0.205±0.004[a]
1.5	0.406±0.006[a]	0.250±0.007[b]	0.234±0.005[b]	0.205±0.008[b]	0.187±0.003[b]	0.168±0.003[b]
2.5	0.385±0.003[b]	0.213±0.004[c]	0.173±0.005[c]	0.156±0.003[c]	0.143±0.005[c]	0.127±0.003[c]
3.5	0.384±0.006[b]	0.175±0.004[d]	0.147±0.010[d]	0.132±0.006[d]	0.122±0.005[d]	0.117±0.002[d]

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในระยะเวลาเดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ 14 ปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจน (มก./ล.) ที่ตรวจวัดได้ในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองด้วยสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 0, 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. ในช่วงระยะเวลา 5 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3)

ความหนาแน่นของ	ระยะเวลาการทดลอง (วัน)					
สาหร่ายข้าวเหนียว (ก./ล.)	0	1	2	3	4	5
0.0	0.738±0.005[a]	0.651±0.001[a]	0.616±0.004[a]	0.587±0.005[a]	0.529±0.005[a]	0.468±0.008[a]
1.5	0.734±0.004[ab]	0.614±0.003[b]	0.580±0.006[b]	0.499±0.008[b]	0.473±0.006[b]	0.396±0.005[b]
2.5	0.728±0.004[b]	0.587±0.006[c]	0.538±0.006[c]	0.477±0.009[c]	0.413±0.006[c]	0.350±0.006[c]
3.5	0.730±0.005[ab]	0.571±0.002[d]	0.501±0.004[d]	0.423±0.004[d]	0.349±0.006[d]	0.324±0.005[d]

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในระยะเวลาเดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ 15 ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน (มก./ล.) ที่ตรวจวัดได้ในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองด้วยสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 0, 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. ในช่วงระยะเวลา 5 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3)

ความหนาแน่นของ	ระยะเวลาการทดลอง (วัน)					
สาหร่ายข้าวเหนียว (ก./ล.)	0	1	2	3	4	5
0.0	2.029±0.003[a]	1.785±0.011[a]	1.720±0.012[a]	1.680±0.015[a]	1.638±0.018[a]	1.560+0.020[a]
1.5	2.030±0.008[a]	1.491±0.014[b]	1.447±0.016[b]	1.377±0.015[b]	1.283±0.013[b]	1.236+0.005[b]
2.5	2.011±0.009[b]	1.424±0.007[c]	1.376±0.021[c]	1.295±0.019[c]	1.201±0.019[c]	0.997+0.024[c]
3.5	2.022±0.012[ab]	1.298±0.027[d]	1.229±0.023[d]	1.205±0.010[d]	0.999±0.022[d]	0.880+0.022[d]

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในระยะเวลาเดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ 16 ปริมาณออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส (มก./ล.) ที่ตรวจวัดได้ในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองด้วยสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 0, 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. ในช่วงระยะเวลา 5 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3)

ความหนาแน่นของ	ระยะเวลาการทดลอง (วัน)					
สาหร่ายข้าวเหนียว (ก./ล.)	0	1	2	3	4	5
0.0	0.203±0.005[a]	0.170±0.003[a]	0.151±0.006[a]	0.138±0.002[a]	0.125±0.003[a]	0.107±0.004[a]
1.5	0.209±0.005[a]	0.128±0.002[b]	0.118±0.003[b]	0.104±0.003[b]	0.095±0.005[b]	0.080±0.004[b]
2.5	0.207±0.005[a]	0.115±0.005[c]	0.105±0.004[c]	0.095±0.001[c]	0.083±0.002[c]	0.067±0.003[c]
3.5	0.210±0.006[a]	0.106±0.000[d]	0.085±0.002[d]	0.076±0.004[d]	0.064±0.003[d]	0.047±0.004[d]

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในระยะเวลาเดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ 17 ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (%) โดยสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. ในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองในช่วงระยะเวลา 5 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3)

ความหนาแน่นของ	ระยะเวลาการทดลอง (วัน)				
สาหร่ายข้าวเหนียว (ก./ล.)	1	2	3	4	5
1.5	9.10±2.88[a]	9.65±0.59[a]	**12.08±0.84[a]**	9.51±01.53[a]	9.37±1.63[a]
2.5	13.90±0.96[b]	**20.63±1.01[b]**	20.31±0.56[b]	16.18±1.77[b]	15.00±0.78[b]
3.5	23.48±1.28[c]	**27.21±2.49[c]**	26.91±1.36[c]	21.20±1.85[c]	17.44±1.84[b]

ตารางภาคผนวกที่ 18 ประสิทธิภาพการบำบัดไนไตรท์-ไนโตรเจน (%) โดยสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. ในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองในช่วงระยะเวลา 5 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3)

ความหนาแน่นของ	ระยะเวลาการทดลอง (วัน)				
สาหร่ายข้าวเหนียว (ก./ล.)	1	2	3	4	5
1.5	4.50±0.74[a]	4.33±1.25[a]	**11.32±1.57[a]**	6.96±1.29[a]	9.20±0.21[a]
2.5	7.47±0.58[b]	9.32±1.22[b]	13.75±1.12[a]	14.45±1.23[b]	**14.86±1.28[b]**
3.5	9.85±0.80[c]	14.60±0.23[c]	21.29±0.86[b]	**23.42±1.04[c]**	18.65±0.61[c]

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในระยะเวลาเดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และค่าที่พิมพ์ตัวหนาเป็นค่าสูงที่สุดของแต่ละชุดการทดลอง

ตารางภาคผนวกที่ 19 ประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรท-ไนโตรเจน (%) โดยสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. ในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองในช่วงระยะเวลา 5 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3)

ความหนาแน่นของ	ระยะเวลาการทดลอง (วัน)				
สาหร่ายข้าวเหนียว (ก./ล.)	1	2	3	4	5
1.5	14.52±0.69[a]	13.48±1.14[a]	14.97±1.09[a]	**17.48±0.95[a]**	15.97±0.58[a]
2.5	17.03±0.52[b]	16.20±1.42[b]	18.23±1.33[b]	20.77±1.29[b]	**27.05±1.02[b]**
3.5	23.72±1.09[c]	23.97±0.90[c]	23.18±0.87[c]	31.27±0.67[c]	**33.24±0.69[c]**

ตารางภาคผนวกที่ 20 ประสิทธิภาพการบำบัดออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส (%) โดยสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. ในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองในช่วงระยะเวลา 5 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3)

ความหนาแน่นของ	ระยะเวลาการทดลอง (วัน)				
สาหร่ายข้าวเหนียว (ก./ล.)	1	2	3	4	5
1.5	**23.30±2.10[a]**	18.63±1.76[a]	19.10±2.20[a]	17.68±1.82[a]	16.02±1.60[a]
2.5	**28.36±3.76[a]**	23.96±3.57[b]	22.83±2.38[a]	22.39±3.00[b]	21.12±2.58[a]
3.5	34.14±1.86[b]	**34.64±1.20[c]**	33.20±0.62[b]	32.85±1.19[c]	31.94±3.65[b]

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในระยะเวลาเดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และค่าที่พิมพ์ตัวหนาเป็นค่าสูงที่สุดของแต่ละชุดการทดลอง

ตารางภาคผนวกที่ 21 อัตราการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (มก./ก.น้ำหนักสด/วัน) โดยสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. ในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองในช่วงระยะเวลา 5 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3)

ความหนาแน่นของ	ระยะเวลาการทดลอง (วัน)				
สาหร่ายข้าวเหนียว (ก./ล.)	1	2	3	4	5
1.5	0.155±0.012[a]	0.171±0.003[a]	0.200±0.003[a]	0.218±0.007[a]	**0.238±0.007[a]**
2.5	0.171±0.004[b]	0.212±0.004[b]	0.230±0.002[b]	0.242±0.007[b]	**0.258±0.003[b]**
3.5	0.208±0.006[c]	0.237±0.010[c]	0.252±0.006[c]	0.261±0.008[c]	**0.267±0.008[b]**

ตารางภาคผนวกที่ 22 อัตราการดูดซับไนไตรท์-ไนโตรเจน (มก./ก.น้ำหนักสด/วัน) โดยสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. ในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองในช่วงระยะเวลา 5 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3)

ความหนาแน่นของ	ระยะเวลาการทดลอง (วัน)				
สาหร่ายข้าวเหนียว (ก./ล.)	1	2	3	4	5
1.5	0.115±0.006[a]	0.154±0.009[a]	0.234±0.012[a]	0.260±0.010[a]	**0.337±0.001[a]**
2.5	0.138±0.004[b]	0.190±0.009[b]	0.251±0.008[a]	0.315±0.010[b]	**0.378±0.010[b]**
3.5	0.157±0.006[c]	0.229±0.002[c]	0.307±0.007[b]	0.406±0.005[c]	**0.406±0.005[c]**

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในระยะเวลาเดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และค่าที่พิมพ์ตัวหนาเป็นค่าสูงที่สุดของแต่ละชุดการทดลอง

ตารางภาคผนวกที่ 23 อัตราการดูดซับไนเตรท-ไนโตรเจน (มก./ก.น้ำหนักสด/วัน) โดยสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. ในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองในช่วงระยะเวลา 5 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3)

ความหนาแน่นของ	ระยะเวลาการทดลอง (วัน)				
สาหร่ายข้าวเหนียว (ก./ล.)	1	2	3	4	5
1.5	0.538±0.014[a]	0.582±0.024[a]	0.625±0.023[a]	0.746±0.021[a]	**0.792±0.013[a]**
2.5	0.586±0.012[b]	0.634±0.030[b]	0.715±0.028[b]	0.809±0.028[b]	**1.013±0.020[b]**
3.5	0.724±0.021[c]	0.793±0.018[c]	0.817±0.020[c]	1.024±0.010[c]	**1.141±0.010[c]**

ตารางภาคผนวกที่ 24 อัตราการดูดซับออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส (มก./ก.น้ำหนักสด/วัน) โดยสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. ในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองในช่วงระยะเวลา 5 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3)

ความหนาแน่นของ	ระยะเวลาการทดลอง (วัน)				
สาหร่ายข้าวเหนียว (ก./ล.)	1	2	3	4	5
1.5	0.081±0.005[a]	0.091±0.004[a]	0.105±0.005[a]	0.114±0.004[a]	**0.129±0.004[a]**
2.5	0.091±0.009[ab]	0.101±0.009[a]	0.112±0.006[a]	0.124±0.007[a]	**0.139±0.006[ab]**
3.5	0.105±0.006[b]	0.125±0.004[b]	0.135±0.002[b]	0.147±0.004[b]	**0.163±0.009[b]**

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในระยะเวลาเดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และค่าที่พิมพ์ตัวหนาเป็นค่าสูงที่สุดของแต่ละชุดการทดลอง

ตารางภาคผนวกที่ 25 อุณหภูมิน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองที่ความหนาแน่น 0.5, 1.0 และ 1.5 ตัว/น้ำ 3 ล. ร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 0, 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. ในช่วงระยะเวลา 55 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3)

ความหนาแน่นของปลาทอง (ตัว/น้ำ 3 ล.)	ความหนาแน่นของสาหร่ายข้าวเหนียว (ก./ล.)	อุณหภูมิ (° C)											
		วันเริ่มต้น	วันที่ 5	วันที่ 10	วันที่ 15	วันที่ 20	วันที่ 25	วันที่ 30	วันที่ 35	วันที่ 40	วันที่ 45	วันที่ 50	วันที่ 55
0.5	0	25.55 ±0.26^{ab}	25.67 ±0.29^{ab}	28.00 ±1.00^{def}	27.67 ±0.76^{de}	28.50 ±0.50^{e}	28.50 ±0.50^{ef}	28.50 ±0.50^{e}	28.50 ±0.50^{e}	**29.00 ±0.50^{e}**	28.83 ±0.76^{f}	28.50 ±0.50^{e}	28.50 ±0.50^{e}
0.5	1.5	25.65 ±0.25^{ab}	25.83 ±0.29^{ab}	26.83 ±0.76^{bcd}	26.50 ±0.50^{bc}	26.67 ±0.76^{c}	27.00 ±0.50^{cd}	26.67 ±0.76^{cd}	26.67 ±0.76^{d}	26.67 ±0.76^{cd}	27.17 ±0.76^{cde}	**27.50 ±0.50^{def}**	27.00 ±0.50^{cd}
0.5	2.5	26.35 ±0.24^{ab}	26.30 ±0.26^{ab}	26.00 ±0.50^{abc}	26.00 ±0.50^{b}	26.33 ±0.76^{bc}	26.00 ±0.50^{bc}	25.17 ±1.04^{ab}	25.00 ±0.50^{ab}	**26.67 ±1.04^{cd}**	26.00 ±0.50^{bc}	26.33 ±0.76^{c}	26.00 ±0.50^{bc}
0.5	3.5	**26.45 ±0.77^{ab}**	26.50 ±0.87^{ab}	24.67 ±0.76^{a}	24.50 ±0.50^{a}	25.33 ±0.76^{ab}	24.67 ±0.76^{a}	25.33 ±0.76^{abc}	24.83 ±1.26^{ab}	25.00 ±1.32^{ab}	25.00 ±0.50^{ab}	24.83 ±1.26^{ab}	25.00 ±0.50^{ab}
1	0	26.10 ±0.40^{ab}	26.00 ±0.50^{ab}	28.00 ±1.00^{def}	28.33 ±0.76^{de}	28.67 ±0.76^{e}	**29.00 ±1.00^{ef}**	28.33 ±0.76^{e}	28.50 ±0.50^{e}	28.00 ±0.50^{de}	28.83 ±0.76^{f}	27.50 ±0.50^{def}	28.17 ±1.04^{de}
1	1.5	26.40 ±1.10^{ab}	26.50 ±1.00^{ab}	27.33 ±1.04^{cde}	27.33 ±0.76^{cde}	27.00 ±0.50^{cd}	27.67 ±0.76^{de}	**28.17 ±0.76^{e}**	26.50 ±0.50^{cd}	27.00 ±0.50^{cd}	27.33 ±0.76^{de}	26.50 ±0.50^{cd}	26.67 ±0.76^{c}

ตารางภาคผนวกที่ 25 (ต่อ)

ความหนาแน่นของปลาทอง (ตัว/น้ำ 3 ล.)	ความหนาแน่นของสาหร่ายข้าวเหนียว (ก./ล.)	อุณหภูมิ (° C)											
		วันเริ่มต้น	วันที่ 5	วันที่ 10	วันที่ 15	วันที่ 20	วันที่ 25	วันที่ 30	วันที่ 35	วันที่ 40	วันที่ 45	วันที่ 50	วันที่ 55
1	2.5	26.12 ±0.25^{ab}	26.33 ±0.29^{ab}	**27.67 ±1.26^{def}**	26.00 ±0.50^{b}	26.50 ±0.50^{bc}	26.50 ±0.50^{bc}	26.50 ±0.50^{bcd}	26.00 ±0.50^{bcd}	26.50 ±0.50^{c}	26.33 ±0.76^{cd}	25.67 ±0.76^{bc}	26.63 ±0.76^{bc}
1	3.5	25.28 ±0.22^{a}	25.33 ±0.29^{a}	24.83 ±0.76^{a}	24.50 ±0.50^{a}	26.00 ±0.50^{bc}	25.50 ±0.50^{ab}	24.50 ±0.50^{a}	24.33 ±1.04^{a}	24.17 ±1.26^{a}	24.17 ±1.04^{a}	24.33 ±0.76^{a}	**25.67 ±0.76^{bc}**
1.5	0	25.55 ±0.23^{ab}	25.67 ±0.27^{ab}	28.50 ±0.50^{ef}	28.33 ±0.76^{de}	28.00 ±0.50^{de}	**28.67 ±0.76^{ef}**	27.50 ±0.50^{de}	28.17 ±0.76^{e}	28.50 ±0.50^{e}	27.83 ±0.29^{ef}	25.60 ±0.10^{bc}	28.33 ±1.04^{e}
1.5	1.5	26.10 ±0.52^{ab}	26.00 ±0.50^{ab}	**29.00 ±0.50^{f}**	27.00 ±0.50^{bcd}	27.00 ±0.50^{cd}	28.00 ±0.50^{edf}	26.50 ±0.50^{bcd}	26.50 ±0.50^{cd}	27.00 ±0.50^{cd}	27.00 ±0.50^{cde}	25.77 ±0.15^{bc}	26.33 ±0.76^{bc}
1.5	2.5	26.70 ±1.14^{b}	26.67 ±1.04^{b}	**28.00 ±0.50^{def}**	26.00 ±0.50^{b}	26.50 ±1.00^{bc}	26.00 ±0.50^{bc}	25.00 ±0.50^{a}	25.17 ±1.04^{abc}	26.00 ±0.50^{bc}	26.00 ±0.50^{bc}	26.17 ±0.06^{c}	24.33 ±0.76^{a}
1.5	3.5	**26.85 ±0.60^{b}**	26.83 ±0.58^{b}	25.83 ±0.76^{ab}	24.83 ±0.76^{a}	24.67 ±0.76^{a}	24.67 ±0.76^{a}	24.67 ±1.61^{a}	24.50 ±0.50^{a}	24.33 ±0.76^{a}	25.00 ±0.50^{ab}	26.33 ±0.06^{c}	24.00 ±0.50^{a}

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในระยะเวลาเดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และค่าที่พิมพ์ตัวหนาเป็นค่าที่สูงที่สุดของแต่ละชุดการทดลอง

ตารางภาคผนวกที่ 26 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองที่ความหนาแน่น 0.5, 1.0 และ 1.5 ตัว/น้ำ 3 ล. ร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 0, 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. ในช่วงระยะเวลา 55 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3)

ความหนาแน่นของปลาทอง (ตัว/น้ำ 3 ล.)	ความหนาแน่นของสาหร่ายข้าวเหนียว (ก./ล.)	ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (มก./ล.)											
		วันเริ่มต้น	วันที่ 5	วันที่ 10	วันที่ 15	วันที่ 20	วันที่ 25	วันที่ 30	วันที่ 35	วันที่ 40	วันที่ 45	วันที่ 50	วันที่ 55
0.5	0	6.50 ±0.12^{a}	6.53 ±0.15^{a}	6.60 ±0.20^{b}	**6.80 ±0.10^{b}**	6.63 ±0.12^{a}	6.73 ±0.15^{a}	6.63 ±0.15^{b}	6.53 ±0.15^{b}	6.50 ±0.10^{bc}	6.20 ±0.10^{bc}	6.07 ±0.15^{b}	5.63 ±0.06^{bc}
0.5	1.5	6.83 ±0.13^{b}	6.93 ±0.15^{b}	6.90 ±0.20^{bcde}	7.20 ±0.10^{de}	**7.37 ±0.15^{def}**	7.13 ±0.21^{bcd}	6.73 ±0.15^{bc}	6.63 ±0.15^{b}	6.73 ±0.15^{def}	6.50 ±0.10^{d}	6.17 ±0.15^{a}	6.17 ±0.06^{e}
0.5	2.5	7.20 ±0.15^{cd}	7.30 ±0.10^{cd}	7.07 ±0.15^{de}	7.30 ±0.10^{def}	**7.40 ±0.10^{def}**	6.97 ±0.21^{abc}	7.20 ±0.10^{ef}	6.93 ±0.25^{cd}	6.93 ±0.15^{f}	6.70 ±0.10^{e}	6.40 ±0.10^{cde}	6.37 ±0.12^{f}
0.5	3.5	7.45 ±0.11^{d}	7.50 ±0.10^{d}	7.50 ±0.10^{f}	7.50 ±0.10f^{g}	**7.67 ±0.06^{g}**	7.40 ±0.10^{efg}	7.53 ±0.06^{f}	7.50 ±0.10^{e}	7.30 ±0.10^{g}	7.20 ±0.10^{g}	6.70 ±0.10^{ef}	6.53 ±0.12^{g}
1	0	6.70 ±0.11^{a}	6.67 ±0.15^{a}	6.80 ±0.10^{bcd}	6.90 ±0.20^{bc}	**7.20 ±0.10^{cd}**	6.93 ±0.15^{ab}	6.93 ±0.15^{cd}	6.80 ±0.10^{bc}	6.63 ±0.15^{cde}	6.33 ±0.15^{cd}	6.70 ±0.46^{ef}	5.57 ±0.06^{bc}
1	1.5	7.25 ±0.14^{cd}	7.23 ±0.15^{cd}	7.43 ±0.15^{f}	7.33 ±0.15^{ef}	**7.57 ±0.06^{fg}**	7.30 ±0.10^{def}	7.20 ±0.10^{ef}	7.43 ±0.15^{e}	6.80 ±0.10^{ef}	6.87 ±0.06^{f}	6.40 ±0.10^{cde}	5.87 ±0.06^{d}

ตารางภาคผนวกที่ 26 (ต่อ)

ความหนาแน่นของปลาทอง (ตัว/น้ำ 3 ล.)	ความหนาแน่นของสาหร่ายข้าวเหนียว (ก./ล.)	ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (มก./ล.)											
		วันเริ่มต้น	วันที่ 5	วันที่ 10	วันที่ 15	วันที่ 20	วันที่ 25	วันที่ 30	วันที่ 35	วันที่ 40	วันที่ 45	วันที่ 50	วันที่ 55
1	2.5	7.30 ±0.12^{cd}	7.37 ±0.15^{cd}	7.50 ±0.10^{f}	7.60 ±0.10^{g}	**7.70 ±0.10^{g}**	7.60 ±0.10^{gh}	7.40 ±0.10^{fg}	7.50 ±0.10^{e}	7.20 ±0.10^{g}	7.20 ±0.10^{g}	6.60 ±0.10^{de}	6.20 ±0.10^{e}
1	3.5	7.25 ±0.11^{cd}	7.30 ±0.10^{cd}	7.47 ±0.15^{f}	7.70 ±0.10^{g}	**7.77 ±0.15^{g}**	7.63 ±0.15^{gh}	7.57 ±0.06^{f}	7.47 ±0.15^{e}	7.40 ±0.10^{g}	7.50 ±0.10^{h}	6.97 ±0.12^{f}	6.40 ±0.10^{fg}
1.5	0	6.45 ±0.13^{a}	6.43 ±0.15^{a}	6.27 ±0.21^{a}	6.50 ±0.10^{a}	**7.07 ±0.15^{bc}**	7.20 ±0.10^{cde}	6.40 ±0.10^{a}	6.27 ±0.21^{a}	6.26 ±0.15^{a}	5.80 ±0.10^{a}	5.60 ±0.10^{a}	5.20 ±0.10^{a}
1.5	1.5	6.60 ±0.22^{a}	6.63 ±0.21^{a}	6.73 ±0.15^{bc}	6.70 ±0.20^{ab}	6.93 ±0.15^{b}	**7.40 ±0.10^{efg}**	7.10 ±0.20^{de}	6.73 ±0.15^{bc}	6.40 ±0.10^{ab}	6.13 ±0.06^{b}	5.77 ±0.15^{a}	5.50 ±0.10^{b}
1.5	2.5	6.99 ±0.12^{b}	6.90 ±0.15^{b}	7.00 ±0.26^{cde}	7.07 ±0.15^{cd}	7.23 ±0.06^{cde}	**7.50 ±0.10^{fgh}**	7.30 ±0.10^{ef}	6.80 ±0.10^{bc}	6.53 ±0.06^{bcd}	6.33 ±0.06^{cd}	6.17 ±0.06^{ab}	5.67 ±0.06^{c}
1.5	3.5	7.54 ±0.10^{c}	7.52 ±0.10^{c}	7.20 ±0.10^{ef}	7.20 ±0.10^{de}	7.43 ±0.15^{ef}	**7.70 ±0.10^{h}**	7.40 ±0.10^{fg}	7.13 ±0.06^{d}	6.80 ±0.10^{ef}	6.43 ±0.06^{d}	6.33 ±0.06^{ab}	5.90 ±0.10^{d}

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในระยะเวลาเดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และค่าที่พิมพ์ตัวหนาเป็นค่าที่สูงที่สุดของแต่ละชุดการทดลอง

ตารางภาคผนวกที่ 27 ความเป็นด่างในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองที่ความหนาแน่น 0.5, 1.0 และ 1.5 ตัว/น้ำ 3 ล. ร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 0, 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. ในช่วงระยะเวลา 55 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3)

ความหนาแน่นของปลาทอง (ตัว/น้ำ 3 ล.)	ความหนาแน่นของสาหร่ายข้าวเหนียว (ก./ล.)	ความเป็นด่าง (มก./ล.)											
		วันเริ่มต้น	วันที่ 5	วันที่ 10	วันที่ 15	วันที่ 20	วันที่ 25	วันที่ 30	วันที่ 35	วันที่ 40	วันที่ 45	วันที่ 50	วันที่ 55
0.5	0	71.23 ±1.39^{a}	70.63 ±2.59^{a}	71.47 ±2.46^{a}	72.89 ±1.86^{ab}	73.77 ±1.74^{a}	**74.81 ±1.19^{a}**	74.08 ±2.04^{ab}	72.33 ±1.84^{a}	71.56 ±2.23^{a}	70.01 ±2.24^{a}	68.21 ±1.86^{a}	66.86 ±1.50^{a}
0.5	1.5	73.33 ±0.85^{b}	74.37 ±0.85^{b}	75.33 ±1.07^{b}	76.45 ±1.04^{d}	77.46 ±0.81^{c}	**78.42 ±0.72^{c}**	78.91 ±0.61^{d}	78.89 ±0.88^{de}	77.42 ±0.53^{cd}	77.57 ±1.02^{d}	78.35 ±0.52^{d}	77.58 ±0.34^{de}
0.5	2.5	72.10 ±1.32^{ab}	72.50 ±2.12^{ab}	74.40 ±1.74^{ab}	75.59 ±1.28^{bcd}	76.59 ±1.10^{bc}	77.74 ±1.32^{bc}	78.87 ±0.85^{d}	79.44 ±1.05^{de}	78.59 ±0.60^{de}	79.48 ±0.36^{def}	**81.01 ±0.80^{e}**	79.96 ±0.60^{ef}
0.5	3.5	73.45 ±1.34^{ab}	72.75 ±1.48^{ab}	74.29 ±1.29^{ab}	75.63 ±1.13^{bcd}	76.30 ±0.96^{abc}	77.41 ±0.67^{bc}	78.66 ±0.81^{d}	79.26 ±0.80^{de}	79.68 ±0.86^{de}	80.56 ±0.59^{efg}	**81.26 ±0.50^{e}**	81.09 ±0.91^{f}
1	0	70.04 ±2.01^{a}	70.64 ±2.21^{a}	71.76 ±1.79^{a}	72.64 ±2.01^{a}	73.88 ±1.87^{a}	**74.85 ±2.29^{a}**	73.41 ±2.33^{a}	73.90 ±2.12^{ab}	73.27 ±2.16^{ab}	72.38 ±1.84^{b}	71.24 ±2.07^{b}	69.58 ±2.50^{b}
1	1.5	71.34 ±1.57^{ab}	71.57 ±1.70^{ab}	73.24 ±1.11^{ab}	74.23 ±1.31^{abcd}	75.22 ±1.07^{abc}	76.48 ±1.23^{abc}	77.10 ±1.03^{cd}	77.64 ±1.16^{cde}	**78.31 ±0.55^{de}**	77.33 ±0.56^{d}	76.94 ±0.16^{d}	76.37 ±0.58^{d}

ตารางภาคผนวกที่ 27 (ต่อ)

ความหนาแน่นของปลาทอง (ตัว/น้ำ 3 ล.)	ความหนาแน่นของสาหร่ายข้าวเหนียว (ก./ล.)	ความเป็นด่าง (มก./ล.)											
		วันเริ่มต้น	วันที่ 5	วันที่ 10	วันที่ 15	วันที่ 20	วันที่ 25	วันที่ 30	วันที่ 35	วันที่ 40	วันที่ 45	วันที่ 50	วันที่ 55
1	2.5	72.54 ±2.19^{ab}	72.66 ±2.99^{ab}	75.03 ±2.63^{ab}	76.26 ±2.44^{d}	76.94 ±2.36^{c}	78.07 ±2.12^{bc}	79.07 ±2.52^{d}	79.31 ±2.33^{de}	80.49 ±1.73^{de}	81.45 ±2.22^{fg}	81.93 ±2.04^{e}	**82.33 ±2.70^{fg}**
1	3.5	73.98 ±1.51^{ab}	73.01 ±1.60^{ab}	74.41 ±1.14^{ab}	75.75 ±1.16^{cd}	76.72 ±1.01^{bc}	77.55 ±0.89^{bc}	79.12 ±0.16^{d}	79.71 ±0.60^{e}	80.66 ±0.35^{e}	82.02 ±0.78^{g}	82.87 ±0.60^{e}	**84.02 ±0.66^{g}**
1.5	0	72.39 ±0.57^{ab}	72.44 ±0.67^{ab}	73.49 ±1.15^{ab}	74.10 ±0.92^{abcd}	75.01 ±1.01^{abc}	75.88 ±1.23^{abc}	74.87 ±1.80^{abc}	**75.89 ±1.68^{bc}**	75.41 ±1.55^{bc}	74.87 ±1.78^{c}	73.91 ±1.75^{c}	72.15 ±1.29^{c}
1.5	1.5	71.95 ±1.12^{ab}	71.24 ±1.05^{ab}	72.43 ±1.15^{ab}	73.36 ±0.75^{abc}	74.37 ±1.04^{ab}	75.63 ±1.18^{ab}	76.51 ±1.25^{bcd}	77.09 ±1.09^{cde}	77.54 ±1.25^{cd}	77.34 ±0.59^{d}	**76.57 ±0.81^{d}**	76.93 ±1.13^{d}
1.5	2.5	72.46 ±1.64^{ab}	72.11 ±1.77^{ab}	73.52 ±1.32^{ab}	74.69 ±0.87^{abcd}	75.92 ±0.39^{abc}	76.86 ±0.92^{abc}	77.66 ±0.51^{d}	78.38 ±0.54^{cde}	78.63 ±0.62^{de}	**79.57 ±0.54^{def}**	78.81 ±0.89^{d}	77.70 ±0.73^{de}
1.5	3.5	71.72 ±1.23^{ab}	71.82 ±1.47^{ab}	73.64 ±1.07^{ab}	74.48 ±1.26^{abcd}	75.57 ±1.17^{abc}	76.34 ±0.76^{abc}	76.71 ±1.03^{bcd}	76.93 ±1.28^{cd}	77.46 ±1.34^{cd}	**78.71 ±1.01^{de}**	78.08 ±1.10^{d}	77.36 ±0.99^{d}

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในระยะเวลาเดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และค่าที่พิมพ์ตัวหนาเป็นค่าที่สูงที่สุดของแต่ละชุดการทดลอง

ตารางภาคผนวกที่ 28 ปริมาณแอมโมเนียในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองที่ความหนาแน่น 0.5, 1.0 และ 1.5 ตัว/น้ำ 3 ล. ร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 0, 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. ในช่วงระยะเวลา 55 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3)

ความหนาแน่นของปลาทอง (ตัว/น้ำ 3 ล.)	ความหนาแน่นของสาหร่ายข้าวเหนียว (ก./ล.)	ปริมาณแอมโมเนีย (มก./ล.)											
		วันเริ่มต้น	วันที่ 5	วันที่ 10	วันที่ 15	วันที่ 20	วันที่ 25	วันที่ 30	วันที่ 35	วันที่ 40	วันที่ 45	วันที่ 50	วันที่ 55
0.5	0	**0.327 ±0.014^{a}**	0.319 ±0.014^{a}	0.296 ±0.010^{b}	0.271 ±0.007^{b}	0.233 ±0.009^{ab}	0.209 ±0.011^{b}	0.187 ±0.015^{b}	0.175 ±0.009^{ab}	0.153 ±0.009^{a}	0.145 ±0.005^{b}	0.144 ±0.004^{b}	0.135 ±0.005^{b}
0.5	1.5	**0.334 ±0.012^{b}**	0.323 ±0.011^{a}	0.300 ±0.007^{b}	0.259 ±0.007^{b}	0.233 ±0.008^{ab}	0.209 ±0.014^{b}	0.184 ±0.014^{b}	0.168 ±0.011^{ab}	0.148 ±0.011^{a}	0.128 ±0.018^{b}	0.119 ±0.013^{b}	0.109 ±0.014^{b}
0.5	2.5	**0.338 ±0.016^{a}**	0.324 ±0.016^{a}	0.279 ±0.008^{ab}	0.229 ±0.008^{a}	0.188 ±0.008^{b}	0.152 ±0.004^{a}	0.129 ±0.008^{a}	0.106 ±0.010^{ab}	0.090 ±0.008^{a}	0.077 ±0.006^{a}	0.074 ±0.012^{a}	0.064 ±0.011^{a}
0.5	3.5	**0.350 ±0.006^{a}**	0.313 ±0.009^{a}	0.267 ±0.007^{a}	0.209 ±0.008^{a}	0.163 ±0.008^{a}	0.143 ±0.004^{a}	0.111 ±0.006^{a}	0.095 ±0.012^{ab}	0.077 ±0.018^{a}	0.059 ±0.020^{a}	0.042 ±0.012^{a}	0.033 ±0.008^{a}
1	0	**0.501 ±0.009^{b}**	0.494 ±0.006^{b}	0.468 ±0.013^{e}	0.444 ±0.234^{e}	0.412 ±0.029^{g}	0.380 ±0.018^{d}	0.352 ±0.023^{d}	0.328 ±0.009^{d}	0.307 ±0.010^{b}	0.292 ±0.006^{c}	0.271 ±0.006^{c}	0.261 ±0.005^{b}
1	1.5	**0.512 ±0.014^{b}**	0.492 ±0.016^{b}	0.464 ±0.011^{de}	0.425 ±0.006^{e}	0.373 ±0.008^{f}	0.320 ±0.004^{c}	0.299 ±0.008^{d}	0.266 ±0.006^{d}	0.244 ±0.012^{ab}	0.220 ±0.016^{c}	0.198 ±0.016^{b}	0.183 ±0.016^{b}

ตารางภาคผนวกที่ 28 (ต่อ)

ความหนาแน่นของปลาทอง (ตัว/น้ำ 3 ล.)	ความหนาแน่นของสาหร่ายข้าวเหนียว (ก./ล.)	ปริมาณแอมโมเนีย (มก./ล.)											
		วันเริ่มต้น	วันที่ 5	วันที่ 10	วันที่ 15	วันที่ 20	วันที่ 25	วันที่ 30	วันที่ 35	วันที่ 40	วันที่ 45	วันที่ 50	วันที่ 55
1	2.5	**0.501 ±0.012^{b}**	0.473 ±0.014^{b}	0.443 ±0.01^{cd}	0.375 ±0.011^{d}	0.332 ±0.013^{e}	0.304 ±0.004^{c}	0.275 ±0.004^{c}	0.229 ±0.009^{d}	0.201 ±0.002^{de}	0.171 ±0.007^{c}	0.150 ±0.007^{b}	0.139 ±0.003^{b}
1	3.5	**0.510 ±0.015^{b}**	0.475 ±0.015^{b}	0.422 ±0.015^{c}	0.315 ±0.012^{c}	0.264 ±0.010^{d}	0.216 ±0.011^{b}	0.182 ±0.007^{b}	0.148 ±0.004^{b}	0.128 ±0.010^{b}	0.101 ±0.003^{c}	0.359 ±0.468^{c}	0.076 ±0.005^{a}
1.5	0	**0.670 ±0.015^{c}**	0.662 ±0.014^{c}	0.636 ±0.012^{ab}	0.614 ±0.012^{g}	0.586 ±0.008^{g}	0.558 ±0.008^{g}	0.534 ±0.011^{g}	0.511 ±0.010^{g}	0.494 ±0.010^{g}	0.476 ±0.010^{d}	0.466 ±0.014^{d}	0.453 ±0.011^{d}
1.5	1.5	**0.676 ±0.010^{c}**	0.657 ±0.013^{c}	0.622 ±0.020^{g}	0.595 ±0.022^{g}	0.552 ±0.019^{g}	0.514 ±0.011^{g}	0.484 ±0.011^{g}	0.458 ±0.012^{g}	0.444 ±0.014^{g}	0.423 ±0.008^{d}	0.412 ±0.010^{d}	0.399 ±0.007^{c}
1.5	2.5	**0.680 ±0.013^{c}**	0.655 ±0.009^{c}	0.611 ±0.017^{fg}	0.559 ±0.011^{f}	0.520 ±0.053^{g}	0.481 ±0.002^{f}	0.440 ±0.016^{g}	0.405 ±0.006^{g}	0.397 ±0.007^{e}	0.378 ±0.008^{d}	0.365 ±0.004^{cd}	0.352 ±0.007^{c}
1.5	3.5	**0.685 ±0.006^{c}**	0.654 ±0.008^{c}	0.618 ±0.014^{fg}	0.555 ±0.018^{f}	0.511 ±0.012^{g}	0.449 ±0.007^{e}	0.415 ±0.007^{f}	0.388 ±0.006^{f}	0.363 ±0.005^{e}	0.343 ±0.009^{d}	0.325 ±0.014^{cd}	0.311 ±0.011^{c}

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในระยะเวลาเดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และค่าที่พิมพ์ตัวหนาเป็นค่าที่สูงที่สุดของแต่ละชุดการทดลอง

ตารางภาคผนวกที่ 29 ปริมาณไนไตรท์ในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองที่ความหนาแน่น 0.5, 1.0 และ 1.5 ตัว/น้ำ 3 ล. ร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 0, 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. ในช่วงระยะเวลา 55 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3)

ความหนาแน่นของปลาทอง (ตัว/น้ำ 3 ล.)	ความหนาแน่นของสาหร่ายข้าวเหนียว (ก./ล.)	ปริมาณไนไตรท์ (มก./ล.)											
		วันเริ่มต้น	วันที่ 5	วันที่ 10	วันที่ 15	วันที่ 20	วันที่ 25	วันที่ 30	วันที่ 35	วันที่ 40	วันที่ 45	วันที่ 50	วันที่ 55
0.5	0	**0.611 ±0.013^{a}**	0.594 ±0.011^{a}	0.513 ±0.012^{ab}	0.475 ±0.012^{a}	0.412 ±0.011^{ab}	0.364 ±0.004^{a}	0.325 ±0.004^{ab}	0.289 ±0.011^{b}	0.251 ±0.014^{bc}	0.221 ±0.007^{b}	0.230 ±0.007^{b}	0.239 ±0.003^{b}
0.5	1.5	**0.601 ±0.012^{a}**	0.521 ±0.015^{a}	0.498 ±0.011^{a}	0.425 ±0.012^{a}	0.389 ±0.010^{a}	0.321 ±0.011^{a}	0.282 ±0.007^{a}	0.250 ±0.004^{b}	0.211 ±0.010^{b}	0.181 ±0.004^{a}	0.150 ±0.002^{a}	0.154 ±0.005^{a}
0.5	2.5	**0.623 ±0.011^{a}**	0.501 ±0.013^{a}	0.460 ±0.013^{a}	0.423 ±0.011^{a}	0.328 ±0.003^{a}	0.289 ±0.005^{a}	0.232 ±0.011^{a}	0.201 ±0.010^{a}	0.189 ±0.010^{a}	0.173 ±0.014^{a}	0.153 ±0.011^{a}	0.121 ±0.011^{a}
0.5	3.5	**0.631 ±0.016^{a}**	0.531 ±0.013^{a}	0.450 ±0.021^{a}	0.421 ±0.012^{a}	0.320 ±0.016^{a}	0.270 ±0.012^{a}	0.224 ±0.012^{a}	0.197 ±0.015^{a}	0.167 ±0.014^{a}	0.153 ±0.008^{a}	0.143 ±0.010^{a}	0.114 ±0.007^{a}
1	0	**0.923 ±0.015^{b}**	0.812 ±0.009^{b}	0.801 ±0.015^{b}	0.767 ±0.012^{bc}	0.701 ±0.023^{g}	0.645 ±0.005^{bc}	0.601 ±0.016^{g}	0.567 ±0.002^{g}	0.501 ±0.009^{e}	0.483 ±0.004^{d}	0.451 ±0.006^{cd}	0.465 ±0.007^{c}
1	1.5	**0.951 ±0.006^{b}**	0.802 ±0.001^{b}	0.783 ±0.013^{b}	0.701 ±0.013^{c}	0.673 ±0.011^{b}	0.602 ±0.002^{bc}	0.576 ±0.004^{c}	0.501 ±0.003^{f}	0.467 ±0.002^{cd}	0.402 ±0.010^{d}	0.398 ±0.014^{cd}	0.391 ±0.011^{c}

ตารางภาคผนวกที่ 29 (ต่อ)

ความหนาแน่นของปลาทอง (ตัว/น้ำ 3 ล.)	ความหนาแน่นของสาหร่ายข้าวเหนียว (ก./ล.)	ปริมาณไนไตรท์ (มก./ล.)											
		วันเริ่มต้น	วันที่ 5	วันที่ 10	วันที่ 15	วันที่ 20	วันที่ 25	วันที่ 30	วันที่ 35	วันที่ 40	วันที่ 45	วันที่ 50	วันที่ 55
1	2.5	**0.911 ±0.014^{b}**	0.756 ±0.012^{b}	0.701 ±0.012^{b}	0.685 ±0.021^{b}	0.612 ±0.011^{b}	0.587 ±0.003^{ab}	0.562 ±0.012^{c}	0.503 ±0.012^{d}	0.489 ±0.013^{cd}	0.396 ±0.011^{c}	0.350 ±0.015^{c}	0.321 ±0.004^{d}
1	3.5	**0.965 ±0.015^{b}**	0.742 ±0.015^{b}	0.681 ±0.011^{b}	0.630 ±0.012^{b}	0.589 ±0.012^{ab}	0.550 ±0.012^{ab}	0.523 ±0.005^{c}	0.467 ±0.001^{c}	0.402 ±0.011^{c}	0.345 ±0.012^{c}	0.301 ±0.013^{c}	0.295 ±0.006^{c}
1.5	0	**1.270 ±0.015^{c}**	1.134 ±0.012^{c}	1.023 ±0.012^{d}	0.945 ±0.012^{d}	0.901 ±0.008^{d}	0.875 ±0.005^{d}	0.832 ±0.011^{e}	0.764 ±0.010^{f}	0.723 ±0.010^{f}	0.684 ±0.013^{e}	0.650 ±0.014^{e}	0.590 ±0.013^{f}
1.5	1.5	**1.256 ±0.010^{c}**	1.012 ±0.011^{c}	0.982 ±0.020^{cd}	0.901 ±0.022^{d}	0.867 ±0.019^{c}	0.834 ±0.011^{d}	0.783 ±0.011^{d}	0.723 ±0.012^{e}	0.698 ±0.014^{f}	0.650 ±0.008^{e}	0.601 ±0.010^{e}	0.551 ±0.007^{f}
1.5	2.5	**1.205 ±0.013^{c}**	0.998 ±0.010^{c}	0.891 ±0.016^{c}	0.756 ±0.012^{bc}	0.702 ±0.051^{bc}	0.698 ±0.031^{bc}	0.603 ±0.012^{cd}	0.589 ±0.012^{d}	0.550 ±0.013^{e}	0.504 ±0.012^{d}	0.489 ±0.002^{d}	0.425 ±0.014^{e}
1.5	3.5	**1.223 ±0.006^{c}**	0.934 ±0.003^{c}	0.823 ±0.012^{c}	0.798 ±0.014^{c}	0.689 ±0.011^{b}	0.623 ±0.012^{bc}	0.567 ±0.017^{c}	0.512 ±0.021^{d}	0.501 ±0.012^{e}	0.467 ±0.013^{d}	0.421 ±0.011^{d}	0.411 ±0.015^{e}

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในระยะเวลาเดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และค่าที่พิมพ์ตัวหนาเป็นค่าที่สูงที่สุดของแต่ละชุดการทดลอง

ตารางภาคผนวกที่ 30 ปริมาณไนเตรทในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองที่ความหนาแน่น 0.5, 1.0 และ 1.5 ตัว/น้ำ 3 ล. ร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 0, 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. ในช่วงระยะเวลา 55 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3)

ความหนาแน่นของปลาทอง (ตัว/น้ำ 3 ล.)	ความหนาแน่นของสาหร่ายข้าวเหนียว (ก./ล.)	ปริมาณไนเตรท (มก./ล.)											
		วันเริ่มต้น	วันที่ 5	วันที่ 10	วันที่ 15	วันที่ 20	วันที่ 25	วันที่ 30	วันที่ 35	วันที่ 40	วันที่ 45	วันที่ 50	วันที่ 55
0.5	0	**1.550 ±0.095**[a]	1.453 ±0.115[b]	1.281 ±0.010[b]	1.072 ±0.026[c]	0.913 ±0.012[d]	0.813 ±0.012[d]	0.718 ±0.030[c]	0.640 ±0.040[d]	0.647 ±0.023[d]	0.808 ±0.040[de]	0.878 ±0.032[c]	0.936 ±0.019[c]
0.5	1.5	**1.552 ±0.123**[a]	1.346 ±0.116[ab]	1.173 ±0.010[b]	0.791 ±0.057[c]	0.676 ±0.045[c]	0.553 ±0.061[c]	0.457 ±0.058[bc]	0.468 ±0.063[c]	0.456 ±0.061[c]	0.463 ±0.061[bc]	0.560 ±0.059[b]	0.680 ±0.089[b]
0.5	2.5	**1.468 ±0.074**[a]	1.254 ±0.054[a]	1.051 ±0.060[a]	0.635 ±0.115[a]	0.421 ±0.093[b]	0.313 ±0.099[b]	0.252 ±0.062[ab]	0.248 ±0.057[b]	0.242 ±0.054[ab]	0.250 ±0.052[ab]	0.440 ±0.128[b]	0.417 ±0.084[b]
0.5	3.5	**1.541 ±0.095**[a]	1.305 ±0.111[ab]	1.001 ±0.107[a]	0.517 ±0.057[a]	0.241 ±0.061[a]	0.141 ±0.062[a]	0.111 ±0.037[a]	0.089 ±0.014[a]	0.085 ±0.019[a]	0.103 ±0.006[a]	0.114 ±0.006[a]	0.113 ±0.011[a]
1	0	**2.135 ±0.097**[b]	2.045 ±0.097[c]d	1.907 ±0.106[e]	1.723 ±0.098[e]	1.614 ±0.086[f]	1.542 ±0.135[h]	1.450 ±0.120[e]	1.350 ±0.077[f]	1.389 ±0.165[f]	1.482 ±0.142[g]	1.645 ±0.115[f]	1.710 ±0.075[f]
1	1.5	**2.171 ±0.121**[b]	1.981 ±0.126[cd]	1.792 ±0.145[e]	1.475 ±0.145[d]	1.291 ±0.041[g]	1.192 ±0.060[f]	1.104 ±0.064[d]	1.016 ±0.018[e]	0.916 ±0.062[e]	0.639 ±0.467[cd]	1.041 ±0.076[cd]	0.994 ±0.042[cd]

ตารางภาคผนวกที่ 30 (ต่อ)

ความหนาแน่นของปลาทอง (ตัว/น้ำ 3 ล.)	ความหนาแน่นของสาหร่ายข้าวเหนียว (ก./ล.)	ปริมาณไนเตรท (มก./ล.)											
		วันเริ่มต้น	วันที่ 5	วันที่ 10	วันที่ 15	วันที่ 20	วันที่ 25	วันที่ 30	วันที่ 35	วันที่ 40	วันที่ 45	วันที่ 50	วันที่ 55
1	2.5	**2.274 ±0.074^{b}**	2.070 ±0.096^{d}	1.687 ±0.078^{d}	1.201 ±0.080^{d}	0.977 ±0.040^{e}	0.843 ±0.027^{d}	0.690 ±0.062^{c}	0.617 ±0.015^{d}	0.656 ±0.117^{d}	0.743 ±0.103^{cd}	0.083 ±0.101^{c}	0.822 ±0.076^{c}
1	3.5	**2.166 ±0.112^{b}**	1.890 ±0.126^{c}	1.509 ±0.057^{d}	1.035 ±0.102^{c}	0.839 ±0.081^{d}	0.739 ±0.121^{d}	0.530 ±0.120^{bc}	0.412 ±0.108^{c}	0.379 ±0.165^{bc}	0.479 ±0.129^{bc}	0.507 ±0.125^{b}	0.620 ±0.154^{b}
1.5	0	**2.744 ±0.086^{c}**	2.640 ±0.055^{ef}	2.503 ±0.095^{f}	2.271 ±0.134^{f}	2.148 ±0.150^{h}	2.003 ±0.135^{h}	1.911 ±0.099^{e}	1.780 ±0.126^{g}	1.863 ±0.057^{g}	1.916 ±0.055^{g}	1.985 ±0.067^{g}	2.106 ±0.130^{g}
1.5	1.5	**2.774 ±0.058^{c}**	2.547 ±0.048^{e}	2.275 ±0.073^{f}	1.828 ±0.027^{e}	1.693 ±0.034^{g}	1.589 ±0.058^{h}	1.515 ±0.089^{e}	1.468 ±0.050^{g}	1.443 ±0.086^{f}	1.392 ±0.207^{ef}	1.450 ±0.107^{e}	1.580 ±0.049^{e}
1.5	2.5	**2.741 ±0.086^{c}**	2.451 ±0.068^{e}	2.139 ±0.092^{f}	1.624 ±0.100^{e}	1.519 ±0.104^{g}	1.357 ±0.088^{g}	1.286 ±0.098^{de}	1.207 ±0.089^{g}	1.261 ±0.199^{f}	1.308 ±0.092^{ef}	1.479 ±0.133^{e}	1.499 ±0.110^{e}
1.5	3.5	**2.767 ±0.074^{c}**	2.421 ±0.094^{e}	2.094 ±0.082^{e}	1.351 ±0.044^{d}	1.163 ±0.062^{e}	1.043 ±0.051^{e}	0.680 ±0.500^{c}	0.913 ±0.067^{e}	0.918 ±0.091^{e}	1.053 ±0.087^{ef}	1.154 ±0.114^{cd}	1.271 ±0.075^{cd}

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในระยะเวลาเดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และค่าที่พิมพ์ตัวหนาเป็นค่าที่สูงที่สุดของแต่ละชุดการทดลอง

ตารางภาคผนวกที่ 31 ปริมาณออร์โธฟอสเฟตในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองที่ความหนาแน่น 0.5, 1.0 และ 1.5 ตัว/น้ำ 3 ล. ร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 0, 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. ในช่วงระยะเวลา 55 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3)

ความหนาแน่นของปลาทอง (ตัว/น้ำ 3 ล.)	ความหนาแน่นของสาหร่ายข้าวเหนียว (ก./ล.)	ออร์โธฟอสเฟต (มก./ล.)											
		วันเริ่มต้น	วันที่ 5	วันที่ 10	วันที่ 15	วันที่ 20	วันที่ 25	วันที่ 30	วันที่ 35	วันที่ 40	วันที่ 45	วันที่ 50	วันที่ 55
0.5	0	**0.257 ±0.066**[a]	0.215 ±0.065[a]	0.172 ±0.063[a]	0.119 ±0.025[a]	0.132 ±0.024[a]	0.129 ±0.024[a]	0.141 ±0.019[a]	0.134 ±0.021[ab]	0.165 ±0.012[ab]	0.280 ±0.072[ab]	0.276 ±0.006[ab]	0.300 ±0.069[ab]
0.5	1.5	**0.235 ±0.054**[a]	0.150 ±0.058[a]	0.123 ±0.029[a]	0.098 ±0.013[a]	0.096 ±0.005[a]	0.094 ±0.005[a]	0.099 ±0.007[a]	0.097 ±0.003[ab]	0.198 ±0.093[bc]	0.246 ±0.061[ab]	0.254 ±0.044[ab]	0.289 ±0.033[ab]
0.5	2.5	**0.249 ±0.049**[a]	0.186 ±0.063[a]	0.133 ±0.046[a]	0.088 ±0.012[a]	0.087 ±0.003[a]	0.083 ±0.012[a]	0.089 ±0.004[a]	0.084 ±0.003[a]	1.173 ±0.011[ab]	0.245 ±0.071[ab]	0.261 ±0.043[ab]	0.265 ±0.063[ab]
0.5	3.5	**0.262 ±0.044**[a]	0.173 ±0.067[a]	0.137 ±0.060[a]	0.097 ±0.016[a]	0.089 ±0.018[a]	0.082 ±0.014[a]	0.088 ±0.008[a]	0.083 ±0.010[a]	1.116 ±0.019[a]	0.195 ±0.086[a]	0.210 ±0.077[a]	0.243 ±0.085[a]
1	0	**0.577 ±0.090**[b]	0.430 ±0.079[b]	0.374 ±0.078[b]	0.305 ±0.062[bc]	0.308 ±0.048[cd]	0.313 ±0.049[ab]	0.330 ±0.046[b]	0.349 ±0.038[c]	0.494 ±0.082[d]	0.496 ±0.023[c]	0.507 ±0.037[c]	0.561 ±0.061[c]
1	1.5	**0.570 ±0.085**[b]	0.413 ±0.099[b]	0.345 ±0.098[b]	0.223 ±0.091[d]	0.214 ±0.084[ab]	0.207 ±0.086[a]	0.208 ±0.082[a]	0.214 ±0.090[b]	0.327 ±0.087[c]	0.319 ±0.091[ab]	0.341 ±0.086[ab]	0.350 ±0.081[ab]

ตารางภาคผนวกที่ 31 (ต่อ)

ความหนาแน่นของปลาทอง (ตัว/น้ำ 3 ล.)	ความหนาแน่นของสาหร่ายข้าวเหนียว (ก./ล.)	ออร์โธฟอสเฟต (มก./ล.)											
		วันเริ่มต้น	วันที่ 5	วันที่ 10	วันที่ 15	วันที่ 20	วันที่ 25	วันที่ 30	วันที่ 35	วันที่ 40	วันที่ 45	วันที่ 50	วันที่ 55
1	2.5	**0.527 ±0.086^{b}**	0.335 ±0.084^{ab}	0.232 ±0.057^{ab}	0.143 ±0.040^{a}	0.132 ±0.036^{a}	0.122 ±0.035^{a}	0.125 ±0.041^{a}	0.141 ±0.037^{ab}	0.293 ±0.072^{bc}	0.349 ±0.050^{b}	0.366 ±0.061^{b}	0.376 ±0.041^{b}
1	3.5	**0.562 ±0.074^{b}**	0.306 ±0.019^{ab}	0.197 ±0.021^{ab}	0.110 ±0.016^{a}	0.102 ±0.023^{a}	0.095 ±0.019^{a}	0.103 ±0.009^{a}	0.113 ±0.008^{ab}	0.269 ±0.053^{bc}	0.336 ±0.022^{b}	0.341 ±0.086^{b}	0.354 ±0.015^{b}
1.5	0	**0.958 ±0.057^{c}**	0.828 ±0.069^{c}	0.698 ±0.057^{cd}	0.604 ±0.015^{e}	0.616 ±0.017^{e}	0.609 ±0.024^{e}	0.643 ±0.046^{d}	0.654 ±0.049^{e}	0.833 ±0.059^{f}	0.843 ±0.061^{e}	0.821 ±0.067^{e}	0.829 ±0.051^{e}
1.5	1.5	**1.029 ±0.183^{c}**	0.872 ±0.121^{c}	0.728 ±0.105^{d}	0.599 ±0.101^{e}	0.592 ±0.096^{e}	0.576 ±0.102^{e}	0.554 ±0.085^{cd}	0.570 ±0.085^{de}	0.664 ±0.085^{e}	0.753 ±0.077^{e}	0.751 ±0.066^{e}	0.742 ±0.071^{e}
1.5	2.5	**1.041 ±0.232^{c}**	0.818 ±0.165^{c}	0.647 ±0.185^{cd}	0.503 ±0.132^{e}	0.512 ±0.133^{e}	0.502 ±0.135^{de}	0.483 ±0.148^{c}	0.507 ±0.148^{d}	0.612 ±0.112^{d}	0.629 ±0.128^{d}	0.618 ±0.087^{d}	0.654 ±0.069^{d}
1.5	3.5	**1.065 ±0.248^{c}**	0.742 ±0.187^{c}	0.544 ±0.155^{c}	0.409 ±0.176^{cd}	0.396 ±0.156^{cd}	0.384 ±0.156^{cd}	0.364 ±0.092^{b}	0.377 ±0.091^{c}	0.529 ±0.083^{d}	0.545 ±0.057^{cd}	0.600 ±0.068^{cd}	0.616 ±0.070^{cd}

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในระยะเวลาเดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และค่าที่พิมพ์ตัวหนาเป็นค่าที่สูงที่สุดของแต่ละชุดการทดลอง

ตารางภาคผนวกที่ 32 ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองที่ความหนาแน่น 0.5, 1.0 และ 1.5 ตัว/น้ำ 3 ล. ร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. ในช่วงระยะเวลา 55 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3)

ความหนาแน่นของปลาทอง (ตัว/น้ำ 3 ล.)	ความหนาแน่นของสาหร่ายข้าวเหนียว (ก./ล.)	ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (%)										
		วันที่ 5	วันที่ 10	วันที่ 15	วันที่ 20	วันที่ 25	วันที่ 30	วันที่ 35	วันที่ 40	วันที่ 45	วันที่ 50	วันที่ 55
0.5	1.5	1.08 ±0.93^{a}	0.86 ±1.32^{a}	5.64 ±5.00^{ab}	2.04 ±6.06^{a}	2.01 ±7.84^{a}	2.82 ±7.77^{a}	4.16 ±6.63^{a}	3.64 ±6.87^{a}	6.92 ±8.78^{a}	9.71 ±7.09^{a}	**9.86 ±7.62^{ab}**
0.5	2.5	1.87 ±1.02^{a}	8.25 ±4.17^{c}	15.42 ±4.94^{d}	16.42 ±5.35^{a}	19.86 ±4.81^{de}	20.08 ±5.89^{c}	23.69 ±6.40^{de}	21.64 ±6.01^{de}	23.12 ±5.58^{cd}	23.84 ±6.28^{c}	**23.98 ±6.24^{d}**
0.5	3.5	8.21 ±1.12^{e}	14.51 ±0.67^{d}	24.09 ±1.04^{e}	26.25 ±1.15^{e}	25.32 ±0.04^{e}	27.83 ±1.89^{a}	29.41 ±2.75^{e}	29.99 ±3.90^{e}	30.19 ±1.98^{e}	35.69 ±2.04^{d}	**35.75 ±1.08^{e}**
1	1.5	2.19 ±0.41^{ab}	2.65 ±0.81^{ab}	5.38 ±1.49^{ab}	9.37 ±1.84^{bc}	13.44 ±2.08^{c}	12.14 ±3.73^{b}	13.68 ±3.11^{bc}	13.99 ±4.44^{bc}	15.72 ±5.03^{bc}	15.87 ±5.22^{b}	**16.92 ±4.89^{bcd}**

ตารางภาคผนวกที่ 32 (ต่อ)

ความหนาแน่นของปลาทอง (ตัว/น้ำ 3 ล.)	ความหนาแน่นของสาหร่ายข้าวเหนียว (ก./ล.)	ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (%)										
		วันที่ 5	วันที่ 10	วันที่ 15	วันที่ 20	วันที่ 25	วันที่ 30	วันที่ 35	วันที่ 40	วันที่ 45	วันที่ 50	วันที่ 55
1	2.5	3.98 ±0.84^{cd}	4.67 ±0.70^{b}	13.29 ±1.48^{cd}	15.72 ±2.99^{d}	14.90 ±2.75^{cd}	15.05 ±3.12^{bc}	19.18 ±3.48^{cd}	20.75 ±1.67^{cd}	23.86 ±1.81^{de}	23.65 ±3.05^{c}	**24.06 ±2.18^{d}**
1	3.5	5.04 ±0.18^{d}	10.37 ±0.62^{c}	26.60 ±0.24^{e}	30.39 ±0.30^{e}	33.61 ±0.92^{f}	34.77 ±1.70^{e}	36.56 ±2.51^{f}	36.43 ±2.78^{f}	**38.76 ±1.99^{f}**	15.63 ±0.94^{b}	37.66 ±2.97^{e}
1.5	1.5	1.57 ±0.50^{a}	2.92 ±1.74^{ab}	3.69 ±1.95^{a}	5.90 ±1.69^{ab}	7.32 ±0.83^{ab}	8.22 ±.1.09^{ab}	8.61 ±0.58^{ab}	8.25 ±0.78^{ab}	8.69 ±0.32^{ab}	**8.98 ±0.63^{a}**	8.68 ±1.26^{a}
1.5	2.5	2.43 ±0.78^{ab}	5.10 ±1.30^{b}	9.55 ±1.33^{bc}	11.04 ±1.14b^{cd}	12.68 ±1.48^{bc}	15.21 ±2.49^{bc}	**16.94 ±2.37^{cd}**	15.56 ±2.53^{cd}	15.72 ±2.90^{bc}	16.25 ±2.12^{b}	16.28 ±2.28^{bc}
1.5	3.5	3.37 ±0.28^{bc}	4.97 ±1.18^{b}	10.86 ±1.70^{cd}	13.18 ±0.94^{cd}	18.12 ±0.71^{cd}	19.61 ±1.39^{c}	20.12 ±0.84^{cd}	21.35 ±0.92^{de}	21.61 ±1.63^{cd}	22.83 ±2.09^{c}	**22.92 ±1.49^{cd}**

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในระยะเวลาเดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และค่าที่พิมพ์ตัวหนาเป็นค่าสูงที่สุดของแต่ละชุดการทดลอง

ตารางภาคผนวกที่ 33 ประสิทธิภาพการบำบัดไนไตรท์-ไนโตรเจน ในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองที่ความหนาแน่น 0.5, 1.0 และ 1.5 ตัว/น้ำ 3 ล. ร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. ในช่วงระยะเวลา 55 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3)

ความหนาแน่นของปลาทอง (ตัว/น้ำ 3 ล.)	ความหนาแน่นของสาหร่ายข้าวเหนียว (ก./ล.)	ประสิทธิภาพการบำบัดไนไตรท์-ไนโตรเจน (%)										
		วันที่ 5	วันที่ 10	วันที่ 15	วันที่ 20	วันที่ 25	วันที่ 30	วันที่ 35	วันที่ 40	วันที่ 45	วันที่ 50	วันที่ 55
0.5	1.5	1.19 ±1.56[a]	0.24 ±2.30[a]	0.07 ±3.13[a]	1.27 ±2.51[a]	2.44 ±3.94[a]	**6.15 ±5.00[a]**	3.74 ±4.58[a]	3.44 ±4.04[a]	3.51 ±2.95[a]	3.08 ±3.34[a]	3.52 ±2.21[a]
0.5	2.5	3.18 ±3.79[ab]	**7.22 ±4.90[abc]**	6.92 ±4.58[abc]	6.68 ±4.36[abc]	5.79 ±3.72[abc]	2.51 ±3.51[ab]	1.52 ±2.58[ab]	1.39 ±3.35[ab]	0.18 ±4.63[a]	0.07 ±4.15[a]	1.12 ±4.22[a]
0.5	3.5	13.91 ±4.06[bc]	**16.30 ±2.72[bc]**	11.47 ±3.39[abc]	13.05 ±5.64[bc]	9.76 ±4.62[abc]	7.42 ±4.78[abc]	6.25 ±4.93[abc]	6.29 ±5.10[abc]	4.85 ±4.98[ab]	4.66 ±4.50[ab]	3.25 ±4.92[abc]
1	1.5	2.80 ±3.02[a]	3.94 ±1.90[ab]	7.31 ±1.94[abc]	6.50 ±1.48[abc]	6.28 ±1.31[abc]	8.85 ±1.84[bc]	10.13 ±1.48[abc]	9.11 ±1.64[abc]	10.95 ±1.03[abc]	**11.10 ±0.81[abc]**	10.24 ±0.49[abcd]

ตารางภาคผนวกที่ 33 (ต่อ)

ความหนาแน่นของปลาทอง (ตัว/น้ำ 3 ล.)	ความหนาแน่นของสาหร่ายข้าวเหนียว (ก./ล.)	ประสิทธิภาพการบำบัดไนไตรท์-ไนโตรเจน (%)										
		วันที่ 5	วันที่ 10	วันที่ 15	วันที่ 20	วันที่ 25	วันที่ 30	วันที่ 35	วันที่ 40	วันที่ 45	วันที่ 50	วันที่ 55
1	2.5	2.68 ±1.80^{a}	6.73 ±1.59^{abc}	10.55 ±2.29^{abc}	12.38 ±1.19^{abc}	13.17 ±1.75^{bc}	14.21 ±2.36^{bc}	15.30 ±1.64^{bc}	14.58 ±1.54^{bc}	**18.15 ±2.97^{bc}**	17.50 ±3.41^{bc}	16.45 ±2.73^{c}
1	3.5	8.69 ±0.77^{abc}	15.56 ±2.00^{bc}	16.33 ±2.80^{bc}	16.63 ±5.77^{bc}	17.80 ±2.02^{c}	18.39 ±1.23^{c}	19.06 ±2.35^{c}	18.95 ±2.21^{c}	**21.80 ±2.56^{c}**	21.15 ±6.57^{c}	20.53 ±2.86^{abc}
1.5	1.5	**7.32 ±0.98^{abc}**	6.79 ±0.74^{abc}	4.10 ±1.05^{ab}	4.05 ±0.45^{ab}	1.24 ±1.40^{ab}	1.80 ±1.53^{ab}	2.24 ±1.29^{ab}	1.97 ±0.24^{ab}	0.99 ±0.46^{a}	0.56 ±0.59^{a}	0.17 ±1.78^{abc}
1.5	2.5	9.62 ±0.78^{abc}	9.11 ±0.75^{abc}	9.66 ±2.28^{abc}	**10.13 ±2.48^{abc}**	7.14 ±3.04^{abc}	8.14 ±1.61^{abc}	8.60 ±2.70^{abc}	8.60 ±1.72^{abc}	7.49 ±1.49^{abc}	6.97 ±1.25^{abc}	6.34 ±1.60^{abc}
1.5	3.5	14.95 ±1.58^{c}	18.59 ±2.78^{c}	19.11 ±0.20^{c}	**19.98 ±0.53^{c}**	17.15 ±2.90^{c}	18.14 ±0.48^{c}	18.38 ±2.76^{c}	18.48 ±2.26^{bc}	17.13 ±1.52^{bc}	17.19 ±1.73b^{c}	14.11 ±2.04^{bc}

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในระยะเวลาเดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และค่าที่พิมพ์ตัวหนาเป็นค่าสูงที่สุดของแต่ละชุดการทดลอง

ตารางภาคผนวกที่ 34 ประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรท-ไนโตรเจน ในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองที่ความหนาแน่น 0.5, 1.0 และ 1.5 ตัว/น้ำ 3 ล. ร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. ในช่วงระยะเวลา 55 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3)

ความหนาแน่นของปลาทอง (ตัว/น้ำ 3 ล.)	ความหนาแน่นของสาหร่ายข้าวเหนียว (ก./ล.)	ประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรท-ไนโตรเจน (%)										
		วันที่ 5	วันที่ 10	วันที่ 15	วันที่ 20	วันที่ 25	วันที่ 30	วันที่ 35	วันที่ 40	วันที่ 45	วันที่ 50	วันที่ 55
0.5	1.5	6.95 ±2.43^{ab}	6.89 ±4.77^{a}	18.11 ±3.03^{ab}	15.14 ±4.18^{a}	16.61 ±6.09^{a}	16.61 ±6.26^{a}	10.93 ±5.24^{a}	12.16 ±5.32^{a}	**22.09 ±5.00^{ab}**	20.36 ±6.27^{ab}	16.39 ±6.83^{a}
0.5	2.5	7.87 ±1.55^{ab}	9.94 ±1.45^{ab}	24.34 ±4.07^{bc}	27.93 ±2.89^{b}	28.54 ±3.27^{c}	26.08 ±0.66^{a}	21.07 ±0.72^{b}	21.92 ±1.24^{b}	**32.36 ±1.02^{abc}**	24.44 ±4.92^{abc}	29.66 ±5.98^{bc}
0.5	3.5	9.08 ±2.60^{b}	17.58 ±3.75^{c}	35.26 ±5.81^{d}	42.95 ±2.95^{d}	42.95 ±3.00^{e}	38.72 ±3.03^{b}	35.15 ±3.71^{c}	35.69 ±4.55^{c}	45.03 ±3.37^{c}	48.88 ±3.63^{de}	**52.72 ±2.54^{d}**
1	1.5	4.60 ±0.71^{a}	6.94 ±3.79^{a}	13.03 ±4.27^{a}	16.40 ±2.82^{a}	17.66 ±2.09^{ab}	17.42 ±3.01^{a}	16.85 ±3.87^{ab}	23.36 ±1.41^{b}	**39.62 ±24.14^{bc}**	29.23 ±7.05^{bc}	34.39 ±5.23^{c}

ตารางภาคผนวกที่ 34 (ต่อ)

ความหนาแน่นของปลาทอง (ตัว/น้ำ 3 ล.)	ความหนาแน่นของสาหร่ายข้าวเหนียว (ก./ล.)	ประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรท-ไนโตรเจน (%)										
		วันที่ 5	วันที่ 10	วันที่ 15	วันที่ 20	วันที่ 25	วันที่ 30	วันที่ 35	วันที่ 40	วันที่ 45	วันที่ 50	วันที่ 55
1	2.5	5.04 ±1.63[a]	15.65 ±6.11[bc]	28.96 ±5.83[cd]	34.03 ±3.78[c]	36.77 ±2.70[de]	39.43 ±2.87[b]	38.30 ±1.34[d]	38.18 ±7.00[c]	38.44 ±6.52[bc]	41.61 ±6.38[d]	**45.09 ±3.04[d]**
1	3.5	8.52 ±2.41[b]	19.75 ±1.51[c]	33.12 ±4.23[d]	37.15 ±3.52[c]	38.46 ±5.07[de]	43.84 ±5.39[b]	44.64 ±4.96[e]	47.93 ±6.02[d]	47.64 ±6.47[c]	**53.97 ±5.22[e]**	51.75 ±6.31[d]
1.5	1.5	4.50 ±1.64[a]	9.42 ±4.09[ab]	17.02 ±2.35[ab]	17.49 ±2.31[a]	15.99 ±2.59[a]	15.30 ±2.68[a]	12.31 ±1.26[a]	16.26 ±1.46[ab]	20.06 ±5.78[a]	**20.43 ±2.61[ab]**	20.09 ±0.55[a]
1.5	2.5	6.84 ±0.50[ab]	13.33 ±1.29[abc]	**23.51 ±1.43[bc]**	22.89 ±1.52[b]	23.46 ±1.26[bc]	22.63 ±1.26[a]	20.77 ±0.79[b]	21.94 ±4.98[b]	22.05 ±3.16[ab]	18.37 ±2.47[a]	21.98 ±4.62[ab]
1.5	3.5	8.87 ±1.84[b]	15.76 ±3.51[bc]	34.04 ±2.48[d]	36.45 ±2.92[c]	35.51 ±2.81[d]	**45.31 ±17.91[b]**	32.12 ±3.58[c]	34.94 ±4.21[c]	32.02 ±3.44[abc]	30.86 ±4.05[c]	31.01 ±2.81[c]

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในระยะเวลาเดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และค่าที่พิมพ์ตัวหนาเป็นค่าสูงที่สุดของแต่ละชุดการทดลอง

ตารางภาคผนวกที่ 35 ประสิทธิภาพการบำบัดออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส ในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองที่ความหนาแน่น 0.5, 1.0 และ 1.5 ตัว/น้ำ 3 ล. ร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 1.5, 2.5 และ 3.5 ก,/ล. ในช่วงระยะเวลา 55 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3)

ความหนาแน่นของปลาทอง (ตัว/น้ำ 3 ล.)	ความหนาแน่นของสาหร่ายข้าวเหนียว (ก./ล.)	ประสิทธิภาพการบำบัดออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส (%)										
		วันที่ 5	วันที่ 10	วันที่ 15	วันที่ 20	วันที่ 25	วันที่ 30	วันที่ 35	วันที่ 40	วันที่ 45	วันที่ 50	วันที่ 55
0.5	1.5	19.26 ±5.99^{b}	10.66 ±2.76^{ab}	2.24 ±1.97^{a}	3.05 ±1.09^{a}	3.12 ±1.97^{a}	6.10 ±1.41^{a}	3.90 ±1.46^{a}	**28.72 ±5.66^{a}**	2.99 ±0.75^{a}	1.03 ±0.36^{a}	7.34 ±2.40^{a}
0.5	2.5	9.60 ±2.67^{ab}	12.43 ±1.80^{ab}	7.49 ±1.06^{ab}	12.57 ±1.75^{ab}	13.69 ±1.57^{abc}	**15.85 ±1.78^{abc}**	15.01 ±1.54^{ab}	9.43 ±2.37^{ab}	0.88 ±0.38^{ab}	0.85 ±2.41^{a}	9.87 ±2.85^{ab}
0.5	3.5	19.45 ±1.65^{b}	16.10 ±1.81^{abc}	9.53 ±0.28^{abc}	17.79 ±1.11^{ab}	18.87 ±1.79^{abcd}	21.04 ±1.26^{abc}	20.76 ±1.52^{abc}	20.26 ±2.82^{bc}	**28.44 ±3.19^{abc}**	27.83 ±2.33^{c}	24.87 ±2.81^{ab}
1	1.5	1.72 ±0.10^{a}	3.68 ±1.19^{a}	13.00 ±0.12^{abcd}	15.24 ±2.45^{ab}	17.34 ±2.23^{abcd}	20.06 ±2.89^{abc}	22.36 ±1.25^{abc}	21.37 ±1.23^{bc}	23.31 ±6.71^{bc}	25.14 ±2.08^{c}	**28.85 ±8.70^{b}**

ตารางภาคผนวกที่ 35 (ต่อ)

ความหนาแน่นของปลาทอง (ตัว/น้ำ 3 ล.)	ความหนาแน่นของสาหร่ายข้าวเหนียว (ก./ล.)	ประสิทธิภาพการบำบัดออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส (%)										
		วันที่ 5	วันที่ 10	วันที่ 15	วันที่ 20	วันที่ 25	วันที่ 30	วันที่ 35	วันที่ 40	วันที่ 45	วันที่ 50	วันที่ 55
1	2.5	8.39 ±1.22^{ab}	17.05 ±4.84^{abc}	20.20 ±9.92^{bcd}	23.12 ±9.90^{ab}	25.98 ±8.66^{bcd}	28.80 ±2.24^{bc}	**29.32 ±7.48^{bc}**	28.58 ±4.40^{bc}	17.79 ±4.20^{abc}	16.72 ±4.49^{b}	24.97 ±4.66^{ab}
1	3.5	18.61 ±2.41^{b}	28.19 ±8.48^{c}	31.24 ±9.01^{a}	33.37 ±9.13^{b}	35.41 ±8.83^{a}	36.95 ±9.45^{c}	**38.46 ±8.90^{c}**	36.62 ±8.52^{c}	25.00 ±4.82^{abc}	26.06 ±2.55^{c}	33.40 ±7.95^{b}
1.5	1.5	1.91 ±0.37^{a}	3.20 ±0.47^{a}	6.63 ±0.25^{ab}	8.55 ±0.68^{a}	9.36 ±2.71^{ab}	14.94 ±2.89^{ab}	14.26 ±2.03^{ab}	**22.75 ±5.07^{bc}**	14.79 ±2.16^{abc}	12.76 ±2.16^{b}	14.39 ±4.99^{ab}
1.5	2.5	8.17 ±1.38^{ab}	12.54 ±1.53^{ab}	16.55 ±2.62^{abcd}	16.98 ±3.85^{ab}	17.19 ±3.79^{abcd}	22.34 ±3.46^{abc}	21.15 ±1.09^{abc}	**27.85 ±3.53^{bc}**	27.52 ±5.60^{abc}	26.13 ±5.84^{c}	23.24 ±5.87^{ab}
1.5	3.5	17.75 ±3.35^{b}	23.89 ±5.56^{bc}	28.11 ±4.23^{cd}	30.45 ±2.56^{b}	30.86 ±2.41^{cd}	35.11 ±7.38^{bc}	34.89 ±7.68^{bc}	**37.54 ±6.39^{c}**	36.40 ±9.45^{c}	28.42 ±7.54^{c}	27.25 ±9.32^{b}

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในระยะเวลาเดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และค่าที่พิมพ์ตัวหนาเป็นค่าสูงที่สุดของแต่ละชุดการทดลอง

ตารางภาคผนวกที่ 36 อัตราการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองที่ความหนาแน่น 0.5, 1.0 และ 1.5 ตัว/น้ำ 3 ล. ร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. ในช่วงระยะเวลา 55 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3)

ความหนาแน่นของปลาทอง (ตัว/น้ำ 3 ล.)	ความหนาแน่นของสาหร่ายข้าวเหนียว (ก./ล.)	อัตราการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (มก./ก.น้ำหนักสด/วัน)										
		วันที่ 5	วันที่ 10	วันที่ 15	วันที่ 20	วันที่ 25	วันที่ 30	วันที่ 35	วันที่ 40	วันที่ 45	วันที่ 50	วันที่ 55
0.5	1.5	0.011 ±0.003^{a}	0.034 ±0.005^{a}	0.075 ±0.017^{a}	0.100 ±0.020^{a}	0.124 ±0.026^{a}	0.149 ±0.026^{a}	0.165 ±0.023^{a}	0.185 ±0.023^{a}	0.205 ±0.030^{a}	0.214 ±0.025^{a}	**0.223 ±0.026^{a}**
0.5	2.5	0.014 ±0.003^{ab}	0.059 ±0.016^{bc}	0.108 ±0.019^{b}	0.149 ±0.021^{cd}	0.185 ±0.019^{c}	0.208 ±0.023^{bc}	0.231 ±0.025^{bc}	0.246 ±0.024^{bc}	0.259 ±0.023^{bc}	0.262 ±0.025^{a}	**0.272 ±0.025^{b}**
0.5	3.5	0.036 ±0.004^{f}	0.081 ±0.002^{de}	0.140 ±0.002^{c}	0.185 ±0.003^{f}	0.205 ±0.002^{c}	0.236 ±0.008^{c}	0.253 ±0.009^{cd}	0.274 ±0.012^{cd}	0.289 ±0.005^{cd}	0.305 ±0.005^{a}	**0.315 ±0.002^{c}**
1	1.5	0.020 ±0.011^{bc}	0.048 ±0.005^{b}	0.086 ±0.008^{a}	0.138 ±0.010^{bc}	0.190 ±0.012^{c}	0.212 ±0.021^{bc}	0.244 ±0.018^{bcd}	0.266 ±0.024^{cd}	0.290 ±0.027^{cd}	0.312 ±0.028^{a}	**0.320 ±0.027^{c}**

ตารางภาคผนวกที่ 36 (ต่อ)

ความหนาแน่นของปลาทอง (ตัว/น้ำ 3 ล.)	ความหนาแน่นของสาหร่ายข้าวเหนียว (ก./ล.)	อัตราการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (มก./ก.น้ำหนักสด/วัน)										
		วันที่ 5	วันที่ 10	วันที่ 15	วันที่ 20	วันที่ 25	วันที่ 30	วันที่ 35	วันที่ 40	วันที่ 45	วันที่ 50	วันที่ 55
1	2.5	0.028 ±0.004^{de}	0.058 ±0.003^{bc}	0.125 ±0.008^{bc}	0.168 ±0.016^{def}	0.196 ±0.015^{c}	0.225 ±0.016^{c}	0.270 ±0.019^{de}	0.298 ±0.011^{de}	0.328 ±0.011^{ef}	0.349 ±0.018^{a}	**0.360 ±0.014^{d}**
1	3.5	0.034 ±0.000^{ef}	0.087 ±0.004^{e}	0.194 ±0.003^{d}	0.244 ±0.006^{g}	0.293 ±0.007^{e}	0.326 ±0.013^{e}	0.360 ±0.018^{f}	0.380 ±0.019^{e}	0.406 ±0.016^{g}	0.419 ±0.466^{a}	**0.431 ±0.021^{e}**
1.5	1.5	0.018 ±0.003^{b}	0.053 ±0.011^{bc}	0.080 ±0.013^{a}	0.123 ±0.011^{b}	0.160 ±0.006^{b}	0.190 ±0.008^{b}	0.216 ±0.004^{b}	0.230 ±0.005^{b}	0.251 ±0.003^{b}	0.262 ±0.004^{a}	**0.274 ±0.009^{b}**
1.5	2.5	0.025 ±0.006^{cd}	0.068 ±0.009^{cd}	0.120 ±0.010^{bc}	0.158 ±0.009^{cde}	0.197 ±0.012^{c}	0.238 ±0.018^{c}	0.273 ±0.018^{de}	0.281 ±0.019^{d}	0.299 ±0.022^{de}	0.312 ±0.017^{a}	**0.326 ±0.017^{c}**
1.5	3.5	0.031 ±0.002^{ef}	0.067 ±0.008^{cd}	0.130 ±0.011^{bc}	0.17 3 ±0.006^{ef}	0.235 ±0.005^{d}	0.269 ±0.010^{d}	0.295 ±0.007^{e}	0.321 ±0.007^{f}	0.340 ±0.012^{f}	0.358 ±0.015^{a}	**0.372 ±0.010^{d}**

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในระยะเวลาเดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และค่าที่พิมพ์ตัวหนาเป็นค่าสูงที่สุดของแต่ละชุดการทดลอง

ตารางภาคผนวกที่ 37 อัตราการดูดซับไนไตรท์-ไนโตรเจน ในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองที่ความหนาแน่น 0.5, 1.0 และ 1.5 ตัว/น้ำ 3 ล. ร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. ในช่วงระยะเวลา 55 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3)

ความหนาแน่นของปลาทอง (ตัว/น้ำ 3 ล.)	ความหนาแน่นของสาหร่ายข้าวเหนียว (ก./ล.)	อัตราการดูดซับไนไตรท์-ไนโตรเจน (มก./ก.น้ำหนักสด/วัน)										
		วันที่ 5	วันที่ 10	วันที่ 15	วันที่ 20	วันที่ 25	วันที่ 30	วันที่ 35	วันที่ 40	วันที่ 45	วันที่ 50	วันที่ 55
0.5	1.5	0.023 ±0.007[a]	0.058 ±0.010[a]	0.136 ±0.013[a]	0.153 ±0.010[a]	0.168 ±0.016[a]	0.176 ±0.020[a]	0.195 ±0.019[a]	0.203 ±0.016[a]	0.210 ±0.012[a]	0.218 ±0.013[a]	**0.226 ±0.009[a]**
0.5	2.5	0.040 ±0.015[a]	0.088 ±0.020[ab]	0.163 ±0.019[a]	0.185 ±0.018[a]	0.202 ±0.015[b]	0.212 ±0.014[ab]	0.216 ±0.010[a]	0.223 ±0.013[a]	0.225 ±0.018[ab]	0.231 ±0.016[a]	**0.237 ±0.016[a]**
0.5	3.5	0.084 ±0.017[a]	0.124 ±0.013[ab]	0.182 ±0.016[a]	0.212 ±0.025[a]	0.219 ±0.021[b]	0.232 ±0.021[ab]	0.236 ±0.021[a]	0.243 ±0.022[a]	0.244 ±0.021[ab]	0.250 ±0.019[a]	**0.254 ±0.021[ab]**
1	1.5	0.056 ±0.025[a]	0.158 ±0.016[ab]	0.216 ±0.018[a]	0.232 ±0.014[a]	0.240 ±0.012[b]	0.269 ±0.013[ab]	0.283 ±0.010[a]	0.289 ±0.012[a]	0.297 ±0.008[ab]	0.309 ±0.006[ab]	**0.317 ±0.002[ab]**

ตารางภาคผนวกที่ 37 (ต่อ)

ความหนาแน่นของปลาทอง (ตัว/น้ำ 3 ล.)	ความหนาแน่นของสาหร่ายข้าวเหนียว (ก./ล.)	อัตราการดูดซับไนไตรท์-ไนโตรเจน (มก./ก.น้ำหนักสด/วัน)										
		วันที่ 5	วันที่ 10	วันที่ 15	วันที่ 20	วันที่ 25	วันที่ 30	วันที่ 35	วันที่ 40	วันที่ 45	วันที่ 50	วันที่ 55
1	2.5	0.054 ±0.013[a]	0.180 ±0.016[ab]	0.242 ±0.022[ab]	0.277 ±0.015[ab]	0.294 ±0.020[abc]	0.311 ±0.023[abc]	0.323 ±0.016[ab]	0.332 ±0.016[ab]	0.354 ±0.029[abc]	0.359 ±0.032[ab]	**0.366 ±0.033[abc]**
1	3.5	0.100 ±0.007[a]	0.223 ±0.021[bc]	0.287 ±0.060[ab]	0.310 ±0.053[ab]	0.329 ±0.055[bc]	0.243 ±0.058[bc]	0.352 ±0.051[ab]	0.366 ±0.057[ab]	0.389 ±0.062[bcd]	0.387 ±0.061[ab]	**0.397 ±0.063[bc]**
1.5	1.5	0.240 ±0.109[b]	0.339 ±0.127[cd]	0.374 ±0.128[bc]	0.393 ±0.133[bc]	0.417 ±0.128[cd]	0.431 ±0.131[cd]	0.447 ±0.128[bc]	0.456 ±0.128[bc]	0.464 ±0.129[cd]	0.474 ±0.129[bc]	**0.486 ±0.131[cd]**
1.5	2.5	0.267 ±0.119[b]	0.364 ±0.116[de]	0.439 ±0.148[cd]	0.464 ±0.149[cd]	0.486 ±0.152[de]	0.506 ±0.160[de]	0.523 ±0.162[cd]	0.535 ±0.161[cd]	0.541 ±0.158[de]	0.551 ±0.166[cd]	**0.559 ±0.158[de]**
1.5	3.5	0.329 ±0.114[b]	0.476 ±0.136[e]	0.548 ±0.142[d]	0.577 ±0.135[d]	0.601 ±0.135[e]	0.621 ±0.142[e]	0.653 ±0.145[d]	0.649 ±0.151[d]	0.652 ±0.152[e]	**0.668 ±0.154[d]**	0.645 ±0.115[e]

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในระยะเวลาเดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และค่าที่พิมพ์ตัวหนาเป็นค่าสูงที่สุดของแต่ละชุดการทดลอง

ตารางภาคผนวกที่ 38 อัตราการดูดซับไนเตรท-ไนโตรเจน ในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองที่ความหนาแน่น 0.5, 1.0 และ 1.5 ตัว/น้ำ 3 ล. ร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. ในช่วงระยะเวลา 55 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3)

ความหนาแน่นของปลาทอง (ตัว/น้ำ 3 ล.)	ความหนาแน่นของสาหร่ายข้าวเหนียว (ก./ล.)	อัตราการดูดซับไนเตรท-ไนโตรเจน (มก./ก.น้ำหนักสด/วัน)										
		วันที่ 5	วันที่ 10	วันที่ 15	วันที่ 20	วันที่ 25	วันที่ 30	วันที่ 35	วันที่ 40	วันที่ 45	วันที่ 50	วันที่ 55
0.5	1.5	0.204 ±0.041^{ab}	0.374 ±0.078^{a}	0.752 ±0.068^{a}	0.864 ±0.081^{a}	0.985 ±0.113^{a}	**1.079 ±0.115^{ab}**	1.066 ±0.093^{a}	1.079 ±0.096^{a}	1.074 ±0.101^{a}	0.979 ±0.119^{a}	0.860 ±0.123^{a}
0.5	2.5	0.211 ±0.028^{ab}	0.411 ±0.025^{a}	0.823 ±0.042^{ab}	1.034 ±0.024^{b}	1.141 ±0.028^{b}	1.199 ±0.014^{abc}	1.202 ±0.020^{ab}	**1.208 ±0.028^{ab}**	1.203 ±0.028^{ab}	1.015 ±0.055^{a}	1.038 ±0.095^{ab}
0.5	3.5	0.235 ±0.039^{abc}	0.536 ±0.059^{abc}	1.014 ±0.114^{cd}	1.288 ±0.069^{c}	1.386 ±0.069^{c}	1.415 ±0.077^{bcde}	1.437 ±0.088^{c}	**1.439 ±0.101^{cde}**	1.425 ±0.093^{abc}	1.415 ±0.101^{cd}	1.416 ±0.089^{cd}
1	1.5	0.188 ±0.012^{a}	0.374 ±0.082^{a}	0.687 ±0.093^{a}	0.870 ±0.081^{a}	0.967 ±0.066^{a}	1.053 ±0.085^{a}	1.139 ±0.104^{ab}	1.240 ±0.059^{abc}	**1.519 ±0.578^{bc}**	1.120 ±0.182^{ab}	1.168 ±0.155^{b}

ตารางภาคผนวกที่ 38 (ต่อ)

ความหนาแน่นของปลาทอง (ตัว/น้ำ 3 ล.)	ความหนาแน่นของสาหร่ายข้าวเหนียว (ก./ล.)	อัตราการดูดซับไนเตรท-ไนโตรเจน (มก./ก.น้ำหนักสด/วัน)										
		วันที่ 5	วันที่ 10	วันที่ 15	วันที่ 20	วันที่ 25	วันที่ 30	วันที่ 35	วันที่ 40	วันที่ 45	วันที่ 50	วันที่ 55
1	2.5	0.202 ±0.033^{ab}	0.583 ±0.151^{bc}	1.066 ±0.153^{cd}	1.287 ±0.109^{c}	1.419 ±0.086^{c}	1.570 ±0.081^{de}	**1.642 ±0.059^{de}**	1.603 ±0.187^{ef}	1.518 ±0.177^{bc}	1.430 ±0.175^{cd}	1.443 ±0.080^{d}
1	3.5	0.275 ±0.061^{bcd}	0.653 ±0.055^{bc}	1.123 ±0.108^{d}	1.317 ±0.101^{c}	1.415 ±0.123^{c}	1.623 ±0.136^{e}	1.739 ±0.132^{ef}	**1.772 ±0.165^{fg}**	1.675 ±0.171^{c}	1.649 ±0.124^{e}	1.538 ±0.135^{d}
1.5	1.5	0.225 ±0.047^{abc}	0.494 ±0.117^{ab}	0.937 ±0.074^{ab}	1.069 ±0.072^{b}	1.171 ±0.077^{b}	1.243 ±0.075^{abcd}	1.288 ±0.038^{b}	1.314 ±0.032^{bcd}	**1.366 ±0.151^{abc}**	1.311 ±0.065^{bc}	1.182 ±0.019^{b}
1.5	2.5	0.288 ±0.019^{cd}	0.597 ±0.034^{bc}	1.108 ±0.026^{cd}	1.210 ±0.027^{c}	1.369 ±0.030^{c}	1.438 ±0.018^{cde}	**1.515 ±0.005^{cd}**	1.462 ±0.116^{de}	1.417 ±0.096^{abc}	1.247 ±0.053^{bc}	1.229 ±0.139^{bc}
1.5	3.5	0.345 ±0.049^{d}	0.669 ±0.105^{c}	1.107 ±0.090^{cd}	1.293 ±0.101^{c}	1.310 ±0.101^{c}	1.472 ±0.492^{de}	1.353 ±0.120^{b}	1.432 ±0.133^{d}	**1.599 ±0.105^{b}**	1.570 ±0.117^{de}	1.484 ±0.087^{a}

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในระยะเวลาเดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และค่าที่พิมพ์ตัวหนาเป็นค่าสูงที่สุดของแต่ละชุดการทดลอง

ตารางภาคผนวกที่ 39 อัตราการดูดซับออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส ในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองที่ความหนาแน่น 0.5, 1.0 และ 1.5 ตัว/น้ำ 3 ล. ร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. ในช่วงระยะเวลา 55 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3)

ความหนาแน่นของปลาทอง (ตัว/น้ำ 3 ล.)	ความหนาแน่นของสาหร่ายข้าวเหนียว (ก./ล.)	อัตราการดูดซับออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส (มก./ก.น้ำหนักสด/วัน)										
		วันที่ 5	วันที่ 10	วันที่ 15	วันที่ 20	วันที่ 25	วันที่ 30	วันที่ 35	วันที่ 40	วันที่ 45	วันที่ 50	วันที่ 55
0.5	1.5	0.084 ±0.008^{ab}	0.111 ±0.027^{a}	0.135 ±0.043^{a}	0.136 ±0.050^{a}	**0.139 ±0.049^{a}**	0.134 ±0.050^{a}	0.136 ±0.053^{a}	0.035 ±0.18^{a}	-0.011 ±0.013^{a}	-0.019 ±0.026^{a}	-0.053 ±0.059^{a}
0.5	2.5	0.062 ±0.015^{a}	0.114 ±0.021^{a}	0.158 ±0.037^{a}	0.159 ±0.049^{a}	**0.164 ±0.042^{a}**	0.158 ±0.046^{a}	0.163 ±0.047^{a}	0.075 ±0.059^{ab}	0.005 ±0.079^{a}	-0.011 ±0.052^{a}	-0.015 ±0.060^{ab}
0.5	3.5	0.088 ±0.026^{ab}	0.123 ±0.024^{ab}	0.162 ±0.028^{a}	0.171 ±0.028^{a}	**0.177 ±0.035^{a}**	0.171 ±0.036^{a}	0.177 ±0.035^{a}	0.145 ±0.030^{abc}	0.068 ±0.073^{a}	0.052 ±0.064^{bc}	0.020 ±0.069^{abc}
1	1.5	0.154 ±0.043^{bc}	0.221 ±0.067^{bc}	0.342 ±0.056^{b}	0.351 ±0.053^{b}	**0.358 ±0.052^{b}**	0.358 ±0.063^{b}	0.352 ±0.071^{b}	0.241 ±0.097^{bcd}	0.170 ±0.031^{ab}	0.228 ±0.032^{bcd}	0.219 ±0.057^{cdef}

ตารางภาคผนวกที่ 39 (ต่อ)

ความหนาแน่นของปลาทอง (ตัว/น้ำ 3 ล.)	ความหนาแน่นของสาหร่ายข้าวเหนียว (ก./ล.)	อัตราการดูดซับออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส (มก./ก.น้ำหนักสด/วัน)										
		วันที่ 5	วันที่ 10	วันที่ 15	วันที่ 20	วันที่ 25	วันที่ 30	วันที่ 35	วันที่ 40	วันที่ 45	วันที่ 50	วันที่ 55
1	2.5	0.189 ±0.023^{cd}	0.291 ±0.035^{cd}	0.378 ±0.63^{b}	0.390 ±0.065^{bc}	**0.400 ±0.062^{bc}**	0.397 ±0.052^{bc}	0.381 ±0.058^{bc}	0.232 ±0.029^{abcd}	0.096 ±0.036^{ab}	0.160 ±0.045^{abc}	0.150 ±0.047^{abcd}
1	3.5	0.253 ±0.058^{de}	0.361 ±0.071^{d}	0.447 ±0.076^{bc}	0.455 ±0.078^{bc}	**0.462 ±0.078^{bc}**	0.454 ±0.083^{bc}	0.444 ±0.080^{bc}	0.291 ±0.084^{cd}	0.145 ±0.077^{ab}	0.220 ±0.067^{bcd}	0.207 ±0.068^{bcde}
1.5	1.5	0.155 +0.074^{bc}	0.296 ±0.079^{cd}	0.424 ±0.082^{bc}	0.431 ±0.088^{bc}	0.446 ±0.087^{bc}	**0.470 ±0.101^{bc}**	0.453 ±0.101^{bc}	0.363 ±0.098^{de}	0.274 ±0.106^{bc}	0.276 ±0.122^{cde}	0.284 ±0.114^{def}
1.5	2.5	0.220 ±0.067^{cd}	0.388 ±0.046^{d}	0.531 ±0.126^{cd}	0.523 ±0.128^{c}	0.532 ±0.127^{c}	**0.551 ±0.142^{cd}**	0.528 ±0.137^{cd}	0.426 ±0.181^{de}	0.409 ±0.149^{cd}	0.420 ±0.166^{de}	0.385 ±0.170^{ef}
1.5	3.5	0.320 ±0.067^{e}	0.515 ±0.104^{e}	0.648 ±0.085^{d}	0.662 ±0.094^{d}	0.674 ±0.094^{d}	**0.693 ±0.162^{d}**	0.681 ±0.164^{d}	0.532 ±0.165^{e}	0.515 ±0.194^{d}	0.462 ±0.250^{e}	0.445 ±0.286^{f}

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในระยะเวลาเดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และค่าที่พิมพ์ตัวหนาเป็นค่าสูงที่สุดของแต่ละชุดการทดลอง

ตารางภาคผนวกที่ 40 อัตราการเจริญเติบโตของปลาทองที่ระดับความหนาแน่น 0.5, 1.0 และ 1.5 ตัว/น้ำ 3 ล. ซึ่งเลี้ยงร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 0, 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. ในช่วงระยะเวลา 56 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD, n=3)

ความหนาแน่นของปลาทอง (ตัว/น้ำ 3 ล.)	ความหนาแน่นของสาหร่ายข้าวเหนียว (ก./ล.)	อัตราการเจริญเติบโตของปลาทอง (ก./วัน)							
		วันที่ 7	วันที่ 14	วันที่ 21	วันที่ 28	วันที่ 35	วันที่ 42	วันที่ 49	วันที่ 56
0.5	0	0.009±0.002^{cd}	0.014±0.002^{cd}	0.021±0.003^{cd}	0.027±0.004^{cd}	0.032±0.004^{cd}	0.034±0.005^{cd}	0.038±0.006^{cd}	**0.040±0.005^{cd}**
0.5	1.5	0.012±0.001^{e}	0.022±0.001^{e}	0.027±0.002^{e}	0.032±0.003^{e}	0.038±0.002^{e}	0.040±0.002^{e}	0.044±0.003^{e}	**0.047±0.002^{e}**
0.5	2.5	0.017±0.004^{f}	0.025±0.002^{f}	0.031±0.001^{f}	0.042±0.005^{f}	0.047±0.006^{f}	0.051±0.005^{f}	0.053±0.004^{f}	**0.055±0.004^{f}**
0.5	3.5	0.015±0.002^{f}	0.027±0.003^{f}	0.034±0.003^{f}	0.040±0.003^{f}	0.044±0.002^{f}	0.048±0.003^{f}	0.050±0.004^{f}	**0.053±0.004^{f}**
1.0	0	0.007±0.002^{bc}	0.010±0.003^{bc}	0.015±0.003^{bc}	0.025±0.007^{bc}	0.028±0.006^{bc}	0.031±0.006^{bc}	0.033±0.005^{bc}	**0.036±0.005^{bc}**
1.0	1.5	0.007±0.002^{bc}	0.013±0.005^{bc}	0.025±0.006^{bc}	0.032±0.007^{bc}	0.034±0.008^{bc}	0.038±0.005^{bc}	0.041±0.005^{bc}	**0.044±0.005^{bc}**
1.0	2.5	0.012±0.002^{de}	0.024±0.011^{de}	0.031±0.006^{de}	0.041±0.008^{de}	0.046±0.011^{de}	0.050±0.012^{de}	0.053±0.010^{de}	**0.057±0.012^{de}**
1.0	3.5	0.015±0.005^{ef}	0.026±0.002^{ef}	0.033±0.006^{ef}	0.042±0.008^{ef}	0.045±0.008^{ef}	0.047±0.006^{ef}	0.046±0.031^{ef}	**0.050±0.028^{ef}**
1.5	0	0.003±0.003^{a}	0.006±0.005^{a}	0.009±0.005^{a}	0.013±0.006^{a}	0.017±0.004^{a}	0.019±0.005^{a}	0.022±0.003^{a}	**0.023±0.003^{a}**
1.5	1.5	0.006±0.003^{ab}	0.009±0.007^{ab}	0.017±0.013^{ab}	0.019±0.016^{ab}	0.026±0.015^{b}	0.030±0.020^{ab}	0.033±0.021^{ab}	**0.035±0.002^{ab}**
1.5	2.5	0.007±0.010^{bc}	0.012±0.012^{bc}	0.018±0.013^{bc}	0.023±0.012^{bc}	0.029±0.005^{bc}	0.032±0.012^{bc}	0.034±0.014^{bc}	**0.036±0.015^{bc}**
1.5	3.5	0.007±0.007^{bc}	0.012±0.007^{bc}	0.020±0.020^{bc}	0.025±0.006^{bc}	0.033±0.005^{bc}	0.035±0.007^{bc}	0.038±0.007^{bc}	**0.040±0.010^{bc}**

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในแนวเดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และค่าที่พิมพ์ตัวหนาหมายถึงค่าที่มากที่สุดในแต่ละชุดการทดลอง

ตารางภาคผนวกที่ 41 อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายข้าวเหนียวที่ระดับความหนาแน่น 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. ซึ่งเลี้ยงร่วมกับปลาทอง ที่ความหนาแน่น 0.5, 1.0 และ 1.5 ตัว/น้ำ 3 ล. ในช่วงระยะเวลา 56 วัน (ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD, n = 3)

ความหนาแน่นของปลาทอง (ตัว/น้ำ 3 ล.)	ความหนาแน่นของสาหร่ายข้าวเหนียว (ก./ล.)	อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายข้าวเหนียว (ก./วัน)							
		วันที่ 7	วันที่ 14	วันที่ 21	วันที่ 28	วันที่ 35	วันที่ 42	วันที่ 49	วันที่ 56
0.5	1.5	0.267 ± 0.061^{bc}	0.395 ± 0.092^{a}	0.557 ± 0.103^{a}	0.652 ± 0.084^{a}	0.712 ± 0.088^{a}	0.776 ± 0.086^{a}	0.867 ± 0.045^{a}	**0.942 ± 0.044^{a}**
0.5	2.5	0.250 ± 0.042^{a}	0.396 ± 0.064^{a}	0.510 ± 0.064^{a}	0.713 ± 0.134^{a}	0.803 ± 0.117^{a}	0.858 ± 0.121^{a}	0.928 ± 0.108^{a}	**0.968 ± 0.095^{a}**
0.5	3.5	0.398 ± 0.085^{ab}	0.547 ± 0.051^{ab}	0.659 ± 0.054^{ab}	0.727 ± 0.018^{b}	0.799 ± 0.033^{ab}	0.876 ± 0.034^{ab}	0.969 ± 0.062^{ab}	**1.042 ± 0.072^{a}**
1.0	1.5	0.314 ± 0.045^{c}	0.464 ± 0.104^{c}	0.663 ± 0.017^{c}	0.841 ± 0.023^{c}	0.978 ± 0.024^{c}	1.095 ± 0.041^{c}	1.174 ± 0.034^{bc}	**1.270 ± 0.018^{bc}**
1.0	2.5	0.342 ± 0.064^{ab}	0.554 ± 0.049^{ab}	0.699 ± 0.078^{ab}	0.881 ± 0.082^{ab}	1.064 ± 0.054^{ab}	1.217 ± 0.048^{ab}	**1.353 ± 0.041^{d}**	1.311 ± 0.111^{c}
1.0	3.5	0.289 ± 0.024^{a}	0.428 ± 0.048^{a}	0.590 ± 0.098^{a}	0.719 ± 0.092^{a}	0.868 ± 0.095^{a}	0.969 ± 0.088^{a}	1.091 ± 0.056^{ab}	**1.176 ± 0.056^{b}**
1.5	1.5	0.454 ± 0.101^{d}	0.612 ± 0.111^{d}	0.793 ± 0.076^{d}	0.941 ± 0.084^{d}	1.041 ± 0.067^{d}	1.149 ± 0.110^{d}	1.268 ± 0.021^{c}	**1.328 ± 0.008^{c}**
1.5	2.5	0.440 ± 0.095^{bc}	0.659 ± 0.083^{bc}	0.787 ± 0.044^{bc}	0.899 ± 0.065^{bc}	1.005 ± 0.095^{bc}	1.117 ± 0.041^{bc}	1.198 ± 0.058^{bc}	**1.256 ± 0.070^{bc}**
1.5	3.5	0.480 ± 0.095^{b}	0.677 ± 0.057^{b}	0.773 ± 0.115^{b}	0.919 ± 0.122^{b}	0.969 ± 0.057^{b}	1.038 ± 0.036^{b}	1.132 ± 0.052^{bc}	**1.174 ± 0.047^{b}**

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในแนวเดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และค่าที่พิมพ์ตัวหนาหมายถึงค่าที่มากที่สุดในแต่ละชุดการทดลอง

ตารางภาคผนวกที่ 42 อัตราการตายสะสมของปลาทองที่ระดับความหนาแน่น 0.5, 1.0 และ 1.5 ตัว/น้ำ 3 ล. ซึ่งเลี้ยงร่วมกับสาหร่ายข้าวเหนียวที่ความหนาแน่น 0, 1.5, 2.5 และ 3.5 ก./ล. ในช่วงระยะเวลา 56 วัน (ค่าเฉลี่ย ± SD, n = 3)

ความหนาแน่นของปลาทอง (ตัว/น้ำ 3 ล.)	ความหนาแน่นของพืชน้ำ (ก./ล.)	อัตราการตายสะสม (%)						
		วันที่ 14	วันที่ 21	วันที่ 28	วันที่ 35	วันที่ 42	วันที่ 49	วันที่ 56
0.5 (10 ตัว/ตู้)	0	6.67±5.77^{a}	10.00±0.00^{e}	10.00±0.00^{efg}	10.00±0.00^{def}	10.00±0.00^{cde}	10.00±0.00^{bc}	**10.00±0.00^{bc}**
0.5	1.5	3.33±5.77^{a}	10.00±0.00^{e}	10.00±0.00^{efg}	10.00±0.00^{def}	10.00±0.00^{cde}	10.00±0.00^{bc}	**10.00±0.00^{bc}**
0.5	2.5	3.33±5.77^{a}	6.67±5.77^{cde}	6.67±5.77^{cdef}	6.67±5.77^{cde}	6.67±5.77^{bc}	6.67±5.77^{abc}	**6.67±5.77^{ab}**
0.5	3.5	0.00±0.00^{a}	0.00±0.00^{a}	0.00±0.00^{a}	0.00±0.00^{a}	0.00±0.00^{a}	3.33±5.77^{ab}	**6.67±5.77^{ab}**
1.0 (20 ตัว/ตู้)	0	3.33±2.89^{a}	10.00±0.00^{e}	11.67±2.89^{g}	13.33±2.89^{f}	13.33±2.89^{def}	18.33±2.89^{de}	**21.67±2.89^{ef}**
1.0	1.5	1.67±2.89^{a}	3.33±2.89^{abc}	3.33±2.89^{abc}	3.33±2.89^{abc}	3.33±2.89^{ab}	6.67±5.77^{abc}	**10.00±5.00^{bc}**
1.0	2.5	1.67±2.89^{a}	1.67±2.89^{ab}	1.672±.89^{ab}	3.33±2.89^{abc}	3.33±2.89^{ab}	3.33±2.89^{ab}	**5.00±0.00^{ab}**
1.0	3.5	1.67±2.89^{a}	1.67±2.89^{ab}	1.67±2.89^{ab}	1.67±2.89^{ab}	1.67±2.89^{a}	1.67±2.89^{a}	**1.67±2.89^{a}**
1.5 (30 ตัว/ตู้)	0	4.44±1.93^{a}	7.78±1.92^{de}	11.11±1.92^{fg}	13.33±0.00^{f}	16.67±0.00^{f}	18.89±1.92^{e}	**23.33±0.00^{f}**
1.5	1.5	2.22±1.92^{a}	6.67±0.00^{cde}	8.89±1.92^{defg}	11.11±1.92^{ef}	14.44±1.93^{ef}	16.67±3.34^{de}	**17.78±1.92^{de}**
1.5	2.5	2.22±1.92^{a}	4.44±1.93^{bcd}	5.56±1.93^{bcde}	8.89±1.92^{def}	12.22±1.92^{def}	12.22±1.92^{cd}	**13.33±0.00^{cd}**
1.5	3.5	2.22±1.92^{a}	3.33±0.00^{abc}	4.44±1.93^{abcd}	5.56±1.93^{bcd}	8.89±1.92^{cd}	8.89±1.92^{bc}	**10.00±0.00^{bc}**

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในแนวเดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และค่าที่พิมพ์ตัวหนาหมายถึงค่าที่มากที่สุดในแต่ละชุดการทดลอง

ภาคผนวก ข
วิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

ภาคผนวก ข.
วิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

ตามวิธีการของ Boyd และ Tucker (1992)

1. การวิเคราะห์ Dissolved Oxygen (DO)

สารเคมี

1. สารละลาย Manganous sulfate: ละลาย $MnSO_4.4H_2O$ 480 ก. ($MnSO_4.2H_2O$ 400 ก. หรือ $MnSO_4.H_2O$ 364 ก.) ด้วยน้ำกลั่น กรองผ่านกระดาษกรอง แล้วเติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตรครบ 1 ล.

2. สารละลาย alkali-iodide-azide (AIA): ละลาย NaOH 500 ก. และ NaI 135 ก. หรือใช้ KOH 700 ก. และ KI 150 ก. ในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้ครบ 1 ล. แล้วละลาย NaN_3 10 ก. ในน้ำกลั่น 40 มล. แล้วเติมสารละลาย NaN_3 ผสมกับสารละลาย NaOH-NaI ที่เตรียมไว้ก่อนหน้านี้

3. กรดกำมะถัน (H_2SO_4) เข้มข้น

4. น้ำแป้ง: ละลาย Soluble starch 2 ก. และ salicylic acid 0.2 ก. ด้วยน้ำกลั่น 100 มล. ต้มจนสารละลายใส

5. สารละลายมาตรฐาน Sodium thiosulphate: ละลาย $Na_2S_2O_3.5H_2O$ 6.205 ก. และ NaOH 0.4 ก. ในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 1 ล. หาความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน $Na_2S_2O_3$ โดยไตเตรทกับสารละลายมาตรฐาน potassium dichromate

6. สารละลายมาตรฐาน potassium dichromate 0.025 N: ละลาย $K_2Cr_2O_7$ 0.6129 ก. ในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 500 มล.

7. สารละลาย potassium iodide: ละลาย KI 2 ก. ในน้ำกลั่น 100 มล.

นำตัวอย่างน้ำบรรจุลงในขวด BOD พยายามอย่าให้มีฟองอากาศ เติมสารละลาย $MnSO_4$ 1 มล. ตามด้วยสารละลาย AIA 1 มล. แล้วปิดฝาขวดผสมสารละลายให้เข้ากันโดยพลิกขวดกลับหัวไปมา 20 ครั้ง จากนั้นปล่อยให้ตะกอนนอนก้น

วิธีวิเคราะห์

1. เติมกรดกำมะถันเข้มข้น 1 มล. ปิดฝาขวดและพลิกขวดกลับหัวเพื่อให้ละลายตะกอนจนหมด ตวงน้ำตัวอย่าง 200 มล. ไปไตเตรทกับสารละลาย $Na_2S_2O_3$ จนสารละลายเป็นสีเหลืองอ่อน จึงเติมน้ำแป้งลงไป 8 หยด แล้วไตเตรทต่อจนสารละลายเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นไม่มีสี แสดงว่าถึงจุดยุติ ในกรณีที่ใช้ปริมาตรน้ำตัวอย่าง 200 มล. ไตเตรทกับสารละลาย $Na_2S_2O_3$ 0.0250 N 1 มล. เท่ากับ DO เข้มข้น 1 มก./ล.

2. หาความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน $Na_2S_2O_3$ โดยเติมสารละลายมาตรฐาน $K_2Cr_2O_7$ 0.025 N 10 มล. ใส่ในฟลาสก์ซึ่งบรรจุสารละลาย KI 100 มล. เติม H_2SO_4 เข้มข้น 2-3 หยด แล้วเก็บไว้ในที่มืดเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นเติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 250 มล. แล้วนำไปไตเตรทกับสารละลายมาตรฐาน $Na_2S_2O_3$ เช่นเดียวกับการไตเตรทหาความเข้มข้นของ DO ในน้ำตัวอย่าง คำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน $Na_2S_2O_3$ โดยใช้สูตรคำนวณ

$N_1V_1 = N_2V_2$

โดย N_1 = ความเข้มข้นของ $K_2Cr_2O_7$ ที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน

N_2 = ความเข้มข้นของ $Na_2S_2O_3$ ที่ต้องการหาความเข้มข้นที่แน่นอน

V_1 = ปริมาตรของ $K_2Cr_2O_7$ ที่ใช้

V_2 = ปริมาตรทั้งหมดของสารละลาย $Na_2S_2O_3$ ที่ใช้ไตเตรท จนถึงจุดยุติ

$$\text{DO (มก./ล.)} = \frac{(\text{มล. } Na_2S_2O_3)(N)(8)(1{,}000)}{\text{มล.น้ำตัวอย่าง}}$$

เมื่อ N = Normality ของ $Na_2S_2O_3$ ที่ใช้ไตเตรท

2. การวิเคราะห์ Total Ammonia Nitrogen (TAN)

สารเคมี

1. น้ำกลั่นปราศจากแอมโมเนีย (ammonia-free distilled water): เตรียมโดยปล่อยน้ำกลั่นผ่านคอลัมน์ ซึ่งบรรจุ cation exchange resin ที่เป็นกรดแก่

2. สารละลายออกซิไดซิ่ง (oxidizing solution): ผสมน้ำยาซักผ้าขาว (มีคลอรีน 5%) 20 มล. กับน้ำกลั่น 80 มล. แล้วปรับ pH ให้อยู่ในช่วง 6.5-7 โดยใช้สารละลายกรด HCl (กรด 1 ส่วนต่อน้ำกลั่น 3 ส่วน) ควรเตรียม oxidizing solution ใหม่ทุก 4-5 วัน

3. สารละลายฟีนอล: ละลาย NaOH 2.5 ก. และฟีนอล 10.0 ก. ในน้ำกลั่น 100 มล. ควรเตรียมสารละลายนี้ใหม่ทุก 4-5 วัน

4. สารละลายเกลือ Rochelle: ละลายเกลือโรเชล ($KNaC_4H_4O_6.4H_2O$) 50 ก. ในน้ำกลั่น 100 มล. แล้วต้มให้เดือดเพื่อไล่แอมโมเนียที่อาจปนเปื้อนในเกลือ จนปริมาตรสารละลายเหลือประมาณ 70 มล. จึงทำให้เย็น จากนั้นเติม $MnSO_4.2H_2O$ 50 มก. แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100 มล.

5. สารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย-ไนโตรเจน: ขั้นแรกเตรียมสารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย-ไนโตรเจนทั้งหมด (Total Ammonia-Nitrogen หรือ TAN) เข้มข้น 1,000

มก./ล. โดยละลาย NH_4Cl 1.9079 ก. ในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 500 มล. จากนั้นเจือจาง 50 มล.ของสารละลายมาตรฐาน TAN 1,000 มก./ล. ด้วยน้ำกลั่น จนได้ปริมาตรครบ 500 มล. ซึ่งจะได้สารละลายมาตรฐาน TAN 10 มก./ล. นำสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียที่เตรียมได้ครั้งหลังนี้ไปเตรียมสารละลายมาตรฐานให้มีความเข้มข้นอย่างน้อย 6 ระดับ อยู่ในช่วง 0.00-0.5 มก./ล. ตามสูตรคำนวณดังนี้

$$N_1V_1 = N_2V_2$$

โดย N_1 = ความเข้มข้นของสารละลายตั้งต้นที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน

N_2 = ความเข้มข้นของสารละลายที่ต้องการเตรียม

V_1 = ปริมาตรของสารละลายตั้งต้นที่จะนำไปเจือจาง

V_2 = ปริมาตรทั้งหมดของสารละลายสุดท้ายที่ต้องการเตรียม

วิธีการวิเคราะห์

1. ใช้ไปเปตดูดตัวอย่างน้ำที่ผ่านการกรอง หรือสารละลายมาตรฐาน TAN หรือน้ำกลั่น (blank) 10 มล. ใส่ในบีกเกอร์ขนาดจุ 50 มล. แล้วคนด้วย magnetic stirrer

2. ขณะที่คนน้ำตัวอย่าง เติมสารละลายเกลือโรเชลลงไป 1 หยด oxidizing solution 0.5 มล. และสารละลายฟีนอล 0.6 มล.

3. ปล่อยน้ำตัวอย่างให้อยู่นิ่งเป็นเวลา 15 นาทีเพื่อให้เกิดสีได้เต็มที่

4. นำน้ำตัวอย่างและสารละลายมาตรฐานไปวัดความเข้มแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 630 นาโนเมตร โดยใช้ blank ตั้งค่าการดูดกลืนแสงเป็น 0

5. เขียนกราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสาระลายมาตรฐานกับค่าการดูดกลืนแสง แล้วนำค่าการดูดกลืนแสงที่อ่านได้จากน้ำตัวอย่างไปเปรียบเทียบกับเส้นกราฟมาตรฐาน ก็จะทราบความเข้มข้นของแอมโมเนียในน้ำตัวอย่างนั้น

3. การวิเคราะห์ไนเตรท (Nitrate) และไนไตรท์ (Nitrite)

สารเคมี

1. copper-cadmium granules: ล้างเม็ดแคดเมียม (ที่ร่อนแล้วค้างบนตะแกรงขนาด 40-60 mesh) น้ำหนัก 25 ก. ด้วยสารละลายกรด HCl 6 N แล้วล้างด้วยน้ำเปล่า จากนั้นเติมสารละลาย $CuSO_4$ 2 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 100 มล. แกว่งเม็ดแคดเมียมจนสีฟ้าของสารละลาย $CuSO_4$ จางลง รินสารละลายทิ้งแล้วเติมสารละลาย $CuSO_4$ แกว่งเม็ดแคดเมียมอีกครั้ง ทำซ้ำจนกว่า

จะเกิดตะกอนสีน้ำตาล จากนั้นจึงค่อย ๆ ใช้น้ำเปล่าล้างเอาตะกอนออกไป นำแคดเมียมนี้ไปเติมใน reduction column

2. สารก่อสี (color reagent): เติม 85 เปอร์เซ็นต์ phosphoric acid ปริมาตร 100 มล. ลงในน้ำกลั่น 800 มล. แล้วเติม sulfanilamide 10 ก. เมื่อ sulfanilamide ละลายหมดแล้วจึงเติม N-(1-naphthyl)-ethylenediamine dihydrochloride 1 ก. ละลายให้เข้ากันดี แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรครบ 1 ล. เก็บสารละลายนี้ไว้ในขวดทึบแสง จะสามารถเก็บไว้ใช้ได้ถึง 1 เดือน

3. สารละลาย NH_4Cl-EDTA: ละลาย NH_4Cl 13 ก. และ disodium EDTA 1.7 ก. ในน้ำกลั่น 900 มล. ปรับ pH ของสารละลายนี้ด้วย NH_4OH เข้มข้น จนได้ pH 8.5 แล้วจึงปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 1 ล.

4. สารละลายเจือจาง NH_4Cl-EDTA: เจือจางสารละลาย NH_4Cl-EDTA (สารที่ 3) 300 มล. ด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรครบ 500 มล.

5. สารละลายกรด HCl 6 N: โดยเจือจางกรด HCl เข้มข้นกับน้ำกลั่นในปริมาตรที่เท่ากัน

6. สารละลาย $CuSO_4$ 2 เปอร์เซ็นต์: ละลาย $CuSO_4.5H_2O$ 20 ก. ในน้ำกลั่น 500 มล. แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 1 ล.

7. สารละลายมาตรฐานไนเตรท: ละลาย KNO_3 0.7218 ก. ในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรสุดท้ายให้ครบ 1 ล. จะได้สารละลายมาตรฐานเข้มข้น 100 มก. NO_3-N/ล. ซึ่งสามารถเก็บไว้ใช้ได้นานถึง 6 เดือน เมื่อเติม $CHCl_3$ 2 มล./ล. นำสารละลายมาตรฐานไนเตรทนี้ 100 มล. ไปเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 ล. จะได้สารละลายมาตรฐานไนเตรทเข้มข้น 10 มก. NO_3-N/ล. นำสารละลายมาตรฐานไนเตรทที่เตรียมครั้งหลังนี้ไปเตรียมสารละลายมาตรฐานไนเตรทให้มีความเข้มข้นอย่างน้อย 6 ระดับ อยู่ในช่วง 0.00-1.00 มก. NO_3-N/ล.

8. สารละลายมาตรฐานไนไตรท์: ละลาย 1.232 ก. $NaNO_2$ ในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้ครบ 1 ล. จะได้สารละลายมาตรฐานไนไตรท์เข้มข้น 250 มก. NO_2-N/ล. ซึ่งสามารถเก็บไว้ใช้ต่อไปได้โดยเติม $CHCl_3$ 1 มล./ล. นำสารละลายมาตรฐานนี้ไปเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้สารละลายมาตรฐานเข้มข้น 50 มก. NO_2-N/ล. นำสารละลายมาตรฐานไนไตรท์ที่เตรียมได้ครั้งหลังนี้ไปเตรียมสารละลายมาตรฐานไนไตรท์ให้มีความเข้มข้นอย่างน้อย 6 ระดับ อยู่ในช่วง 0.00-0.50 มก. NO_2-N/ล.

วิธีการวิเคราะห์

1. กรองน้ำตัวอย่างผ่านชุดกรองสุญญากาศ

2. ปรับ pH ของน้ำที่กรองแล้วให้อยู่ในช่วง pH 7-9 ด้วยกรด HCl หรือด่าง NaOH ที่เจือจาง

3. ผสมน้ำตัวอย่าง 25.0 มล.กับสารละลาย NH_4Cl-EDTA 75 มล. แล้วเทให้ไหลผ่านคอลัมน์แคดเมียมในอัตรา 7-10 มล./นาที ทิ้งน้ำตัวอย่างที่ผ่านคอลัมน์ 25 มล. แรกเก็บตัวอย่างที่ผ่านคอลัมน์ส่วนที่เหลือไปวัดความเข้มข้นของไนไตรท์ ภายใน 15 นาทีหลังจากผ่านคอลัมน์

4. นำน้ำตัวอย่างที่ต้องการวัดความเข้มข้นของไนไตรท์ (ทั้งน้ำตัวอย่างที่ผ่านการกรองและน้ำตัวอย่างที่ผ่านคอลัมน์แล้ว) ปริมาตร 50.0 มล.ผสมกับสารก่อสี 2 มล. ผสมให้เข้ากัน

5. ภายหลังเติมสารก่อสีอย่างน้อย 10 นาที แต่ไม่เกิน 2 ชั่วโมง นำสารละลายไปวัดการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ช่วงความยาวคลื่น 543 นาโนเมตร

6. เขียนเส้นกราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกับค่าการดูดกลืนแสง แล้วนำค่าการดูดกลืนแสงที่อ่านได้จากน้ำตัวอย่างไปเปรียบเทียบกับเส้นกราฟมาตรฐาน ก็จะทราบความเข้มข้นของไนไตรท์ในน้ำตัวอย่างนั้น

7. หาความเข้มข้นของไนเตรทในน้ำตัวอย่างได้ โดยนำความเข้มข้นของไนไตรท์ในน้ำตัวอย่างที่ผ่านการกรอง หักออกจากความเข้มข้นของไนไตรท์ในน้ำตัวอย่างที่ผ่านคอลัมน์

4. การวิเคราะห์ออร์โธฟอสเฟต (Orthophosphate)

สารเคมี

1. สารละลายกรดกำมะถัน 5 N: เจือจางกรดกำมะถันเข้มข้น 70 มล. ด้วยน้ำกลั่น ปล่อยทิ้งไว้ให้เย็น แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 500 มล.

2. สารละลาย potassium antimonyl tartrate: ละลาย $K(SbO)C_4H_4O_6.\frac{1}{2}H_2O$ 1.3715 ก. ในน้ำกลั่น 400 มล. แล้วปรับปริมาตรสุดท้ายให้ครบ 500 มล.

3. สารละลาย ammonium molybdate: ละลาย $(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O$ 20 ก. ในน้ำกลั่น 500 มล. เก็บสารละลายนี้ในขวดพลาสติกไว้ที่ 4°C

4. สารละลาย ascorbic acid 0.01 M: ละลาย ascorbic acid 1.76 ก. ในน้ำกลั่น 100 มล. สารละลายนี้สามารถเก็บไว้ใช้ได้นาน 1 สัปดาห์ เมื่อเก็บไว้ที่ 4°C

5. สารก่อสี: ผสมสารละลาย 4 ชนิดแรกเข้าด้วยกันตามลำดับและสัดส่วนดังนี้

สารละลายกรดกำมะถัน	50	มล.
สารละลาย potassium antimonyl tartrate	5	มล.
สารละลาย ammonium molybdate	15	มล.
สารละลาย ascorbic acid	30	มล.

เมื่อผสมกันแล้ว สารก่อสีนี้จะเก็บไว้ใช้ได้ไม่เกิน 4 ชั่วโมง

วิธีการวิเคราะห์

1. ล้างเครื่องแก้วด้วยกรดเกลือ 50% จากนั้นจึงล้างด้วยน้ำประปา แล้วล้างน้ำสุดท้ายด้วยน้ำกลั่น

2. ตวงน้ำตัวอย่างรวมทั้งสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตปริมาตร 25 มล. ใน Erlenmeyer flask แล้วเติมสารก่อสี 4 มล. ผสมให้เข้ากัน ปล่อยไว้อย่างน้อย 10 นาที แต่ไม่เกิน 30 นาที นำไปวัดการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ช่วงความยาวคลื่น 880 นาโนเมตร

3. เขียนเส้นกราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตกับค่าการดูดกลืนแสง แล้วนำค่าการดูดกลืนแสงที่อ่านได้จากน้ำตัวอย่างไปเปรียบเทียบกับเส้นกราฟมาตรฐาน ก็จะทราบความเข้มข้นของออร์โธฟอสเฟตในน้ำตัวอย่างนั้น

5. การวิเคราะห์ความเป็นด่างทั้งหมด (Total Alkalinity)

สารเคมี

1. น้ำกลั่นที่ปราศจากคาร์บอนไดออกไซด์ (carbon dioxide-free distilled water): เพื่อใช้เตรียมสารละลายต่าง ๆ โดยนำน้ำกลั่นธรรมดามาต้มให้เดือด เพื่อไล่คาร์บอนไดออกไซด์

2. สารละลายมาตรฐานกรดกำมะถัน 0.02 N: โดยใช้กรดกำมะถันเข้มข้นปริมาตร 28 มล. ผสมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 ล. จะได้กรดเข้มข้น 0.1 N จากนั้นเจือจาง 200 มล. ของกรด 0.1 N ด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรครบ 1 ล. กรดที่ได้ขั้นสุดท้ายนี้จะเข้มข้นประมาณ 0.02 N หาความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกรดกำมะถันโดยไตเตรทกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมคาร์บอเนต 0.02 N

3. สารละลายมาตรฐานโซเดียมคาร์บอเนต 0.02 N: ละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3 อบแห้งที่ 110 °C) 1.060 ก. ในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้ครบ 1 ล.

4. สารละลายเมทธิลออเรนจ์อินดิเคเตอร์: ละลายเมทธิลออเรนจ์ 0.05 ก. ในน้ำกลั่น 100 มล.

วิธีการวิเคราะห์

1. ตวงน้ำตัวอย่าง 100 มล. ใส่ลงใน Erlenmeyer flask

2. เติมสารละลายเมทธิลออเรนจ์อินดิเคเตอร์ 4-8 หยด ลงในน้ำตัวอย่าง

3. นำน้ำตัวอย่างไปไตเตรทกับสารละลายมาตรฐานกรดกำมะถัน จนกระทั่งถึงจุดยุติซึ่งสารละลายจะเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีส้มอ่อน

4. เนื่องจากการเปลี่ยนสีของสารละลายแยกแยะได้ไม่ชัดเจน การหาจุดยุติของการไตเตรทอาจใช้ pH meter วัด pH ของสารละลาย ซึ่งที่จุดยุติ pH ของสารละลายเท่ากับ 4.5

5. คำนวณค่าความเป็นด่างทั้งหมดตามสูตรคำนวณต่อไปนี้

$$\text{ค่าความเป็นด่างทั้งหมด (มก./ล.)} = \frac{(\text{มล.กรดที่ใช้ไตเตรท})(\text{Normality ของกรดที่ใช้})(50)(1{,}000)}{\text{มล. น้ำตัวอย่าง}}$$

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นางสาววรรณี กลับนวน

รหัสประจำตัวนักศึกษา 4910620090

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตรบัณฑิต (วาริชศาสตร์)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่	2549

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

วรรณี กลับนวน, จารุณี เชี่ยววารีสัจจะ และสมหมาย เชี่ยววารีสัจจะ. 2552. พืชน้ำที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากปลาทอง (*Carassius auratus*) ที่เลี้ยงในระบบปิด. การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาครั้งที่ 4 ณ มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี 13 มีนาคม 2552 หน้า 31.