

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. การเจริญเติบโตของปลานิลแดงแปลงเพศ

1.1 น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว

น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวของปลานิลแดงแปลงเพศที่เลี้ยงในตู้กระจกที่มีระบบน้ำหมุนเวียนแบบปิด โดยมีการบำบัดน้ำที่ใช้เลี้ยง รวม 7 ชุดการทดลอง ได้แก่ ชุดการทดลองที่ 1 ชุดควบคุม ชุดการทดลองที่ 2 สาหร่าย 100% ชุดการทดลองที่ 3 สาหร่าย+ซีโอไลต์ ชุดการทดลองที่ 4 ซีโอไลต์ 100% ชุดการทดลองที่ 5 สาหร่าย+เปลือกหอยนางรม ชุดการทดลองที่ 6 เปลือกหอยนางรม 100% ชุดการทดลองที่ 7 เปลือกหอยนางรม : ซีโอไลต์ ตลอดระยะเวลาการทดลองเลี้ยงนาน 8 สัปดาห์ การเจริญเติบโตของปลาเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เลี้ยง โดยมีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวของปลาเริ่มแตกต่างกัน ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 6 ของการเลี้ยง โดยพบว่า ปลาที่เลี้ยงในชุดการทดลองที่ 4 ซึ่งมีซีโอไลต์เป็นวัสดุบำบัดน้ำทั้งจากการเลี้ยงปลาทดลองมีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวสูงที่สุด รองลงมาคือ ปลาที่เลี้ยงในชุดการทดลองที่ 2, 6, 7, 5 และ 3 ส่วนปลาที่มีน้ำหนักเฉลี่ยต่ำสุด คือ ปลาที่เลี้ยงในชุดการทดลองที่ไม่มีวัสดุบำบัด (ควบคุม) ($p>0.05$) (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 การเจริญเติบโตของปลานิลแดงแปลงเพศที่เลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียนแบบปิด¹

ชุดการทดลอง	ระยะเวลา(สัปดาห์)				
	0	2	4	6	8
1. ควบคุม	15.10±0.05 ^a	21.79±0.52 ^a	29.46±1.72 ^a	39.14±1.71 ^a	46.8±2.33 ^a
2. สาหร่าย 100%	15.02±0.10 ^a	22.56±0.61 ^a	30.97±1.06 ^a	41.19±0.67 ^{bc}	49.33±0.45 ^b
3. สาหร่าย+ซีโอไลต์	15.10±0.15 ^a	24.42±2.66 ^a	30.85±0.42 ^a	39.88±1.02 ^{ab}	46.38±0.68 ^a
4. ซีโอไลต์ 100%	14.98±0.08 ^a	23.35±2.11 ^a	30.90±1.32 ^a	42.64±0.19 ^c	49.09±0.78 ^b
5. สาหร่าย+เปลือกหอย	15.10±0.05 ^a	21.82±1.62 ^a	30.37±0.80 ^a	40.25±0.99 ^{ab}	46.81±0.85 ^a
6. เปลือกหอย 100%	15.05±0.05 ^a	22.79±2.30 ^a	29.48±0.63 ^a	40.97±0.64 ^{bc}	47.91±0.38 ^{ab}
7. เปลือกหอย+ซีโอไลต์	15.02±0.03 ^a	22.41±1.65 ^a	30.17±0.33 ^a	40.89±0.34 ^b	46.54±0.67 ^a

¹ตัวเลขที่นำเสนอมือเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ)

ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับหมายถึงค่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

1.2 น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ อัตราการกินอาหาร อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และอัตราการรอดตาย

น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ อัตราการกินอาหาร และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของปลานิลแดงแปลงเพศที่เลี้ยงในตู้กระจกที่มีระบบน้ำหมุนเวียนแบบปิดทั้ง 7 ชุด การทดลอง ตลอดระยะเวลาการเลี้ยง (ตารางที่ 3 และ 4) พบว่า เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และ อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของปลานิลแดงแปลงเพศที่เลี้ยงในระบบน้ำที่มีสาหร่ายเป็นวัสดุบำบัด (ชุดการทดลองที่ 2) ปลา มีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นสูงที่สุด แต่ไม่แตกต่างกันกับปลานิลแดงแปลงเพศที่เลี้ยงในระบบน้ำแบบปิดที่มีซีโอไลต์เป็นวัสดุบำบัด (ชุดการทดลองที่ 4) รองลงมาคือปลานิลแดงแปลงเพศที่เลี้ยงในระบบน้ำแบบปิดที่มีเปลือกหอยนางรมเป็นวัสดุบำบัด (ชุดการทดลองที่ 6) ส่วนปลาที่เลี้ยงในระบบน้ำแบบปิดในชุดการทดลองที่มีสาหร่าย:ซีโอไลต์ (ชุดการทดลองที่ 3) สาหร่าย+เปลือกหอยนางรม (ชุดการทดลองที่ 5) เปลือกหอยนางรม:ซีโอไลต์ (ชุดการทดลองที่ 7) และชุดควบคุม (ชุดการทดลองที่ 1) มีค่าไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) ส่วนอัตราการกินอาหาร ปลาที่เลี้ยงในระบบน้ำแบบปิดที่มีวัสดุบำบัดทั้ง 7 ชุดการทดลอง มีค่าไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ปลาที่เลี้ยงในระบบน้ำแบบปิดที่มีสาหร่าย 100% (ชุดการทดลองที่ 2) และซีโอไลต์ 100% (ชุดการทดลองที่ 4) มีค่าต่ำที่สุด แต่ไม่แตกต่างกันกับปลาที่เลี้ยงในทุกการทดลอง ($p>0.05$) และอัตราการรอดตาย พบว่า ปลาที่เลี้ยงในชุดการทดลองที่ 4 (ซีโอไลต์ 100%) มีอัตราการรอดสูงที่สุด และปลาที่เลี้ยงในชุดการทดลองที่ 1 (ชุดควบคุม) มีอัตราการรอดตายต่ำที่สุด ตารางที่ 3 น้ำหนักเริ่มต้น น้ำหนักสุดท้าย น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของปลานิลแดงแปลงเพศที่เลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียนแบบปิด¹

ชุดการทดลอง	นน.เริ่มต้น (กรัมต่อตัว)	นน.สุดท้าย (กรัมต่อตัว)	นน.ที่เพิ่มขึ้น (%)	อัตราการเจริญเติบโต จำเพาะ (%ต่อวัน)
T ₁	15.10±0.05 ^a	46.84±2.33 ^a	210.19±15.22 ^a	1.88±0.08 ^a
T ₂	15.02±0.10 ^a	49.33±0.45 ^b	228.51±3.22 ^b	1.98±0.02 ^b
T ₃	15.10±0.15 ^a	46.38±0.68 ^a	207.22±7.21 ^a	1.87±0.04 ^a
T ₄	14.98±0.08 ^a	49.09±0.78 ^b	227.60±3.70 ^b	1.98±0.02 ^b
T ₅	15.10±0.05 ^a	46.81±0.85 ^a	209.99±6.28 ^a	1.88±0.03 ^a
T ₆	15.05±0.05 ^a	47.91±0.38 ^{ab}	218.36±2.01 ^{ab}	1.93±0.01 ^{ab}
T ₇	15.02±0.03 ^a	46.54±0.67 ^a	209.89±3.99 ^a	1.88±0.02 ^a

¹ตัวเลขที่นำเสนอมือเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ)
ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับหมายถึงค่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางที่ 4 อัตราการกินอาหาร อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และอัตราการรอดตาย ของปลานิลแดงแปลงเพศที่เลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียนแบบปิด¹

ชุดการ ทดลอง	อัตราการกินอาหาร (% ต่อตัวต่อวัน)	อัตราการเปลี่ยน อาหาร เป็นเนื้อ	อัตราการรอดตาย (%)
T ₁	2.97±0.13 ^a	1.18±0.06 ^{ab}	70.00±1.00 ^a
T ₂	2.92±0.03 ^a	1.14±0.01 ^a	76.67±1.05 ^b
T ₃	2.99±0.07 ^a	1.19±0.03 ^{ab}	82.07±1.00 ^{bc}
T ₄	2.91±0.10 ^a	1.14±0.04 ^a	86.67±1.00 ^c
T ₅	3.00±0.10 ^a	1.19±0.04 ^{ab}	75.00±0.05 ^b
T ₆	3.01±0.07 ^a	1.18±0.02 ^{ab}	76.67±1.09 ^b
T ₇	3.08±0.05 ^a	1.22±0.02 ^b	76.00±1.05 ^b

¹ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ)
ค่าเฉลี่ยในแนวดิ่งที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับหมายถึงค่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (p> 0.05)

2. ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนีย

2.1. ประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียในรอบวัน

การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียจากน้ำที่ใช้เลี้ยงปลานิลแดงแปลงเพศ ทั้ง 7 ชุดการทดลอง ระยะเวลา 6 วัน (ตารางที่ 5) สรุปได้ดังนี้

2.1.1 ประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียในรอบระยะเวลา 6 วัน พบว่า ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับ หรือประสิทธิภาพการดูดซับของวัสดุบำบัดในแต่ละชุดการทดลองมีค่าเปลี่ยนแปลงขึ้นลงแตกต่างกันดังนี้

2.1.1.1 วันที่ 1 ประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนีย คุณภาพน้ำที่ผ่านการเลี้ยงในตู้ เปรียบเทียบกับน้ำที่ผ่านระบบบำบัด (ถังบำบัด) พบว่า ค่าประสิทธิภาพการดูดซับเรียงจากสูงสุดไปหาค่าที่น้อยที่สุด คือวัสดุบำบัดที่เป็นสาหร่ายหางกระรอก:ซีโอไลด์ มีประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุด (57.04±0.02%) รองลงมาได้แก่ ซีโอไลด์+เปลือกหอยนางรม (52.24±0.02%) , สาหร่ายหางกระรอก : เปลือกหอยนางรม (51.28 ± 0.03%) , เปลือกหอยนางรม 100% (48.84±0.04%) ซีโอไลด์ 100% (48.81±0.02%) , ชุดควบคุม (6.02± 0.02 %) และสาหร่ายหางกระรอก (5.45±0.05%) ตามลำดับ

2.1.1.2 วันที่ 2 ประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนีย คุณภาพน้ำที่ผ่านการเลี้ยงและ
สู่ระบบบำบัด พบว่า ค่าประสิทธิภาพการดูดซับ เรียงจากสูงสุดไปหาน้อยที่สุด คือ สาหร่ายหาง
กระรอก+ซีโอไลด์ มีประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุด ($57.04 \pm 0.02\%$) รองลงมาได้แก่ ซีโอไลด์ 100%
($63.16 \pm 0.02\%$) สาหร่ายหางกระรอก 100% ($51.92 \pm 0.02\%$) เปลือกหอย 100% ($46.38 \pm 0.02\%$)
สาหร่ายหางกระรอก : เปลือกหอยนางรม ($38.89 \pm 0.01\%$) ซีโอไลด์ : เปลือกหอยนางรม
($36.96 \pm 0.02\%$) และชุดควบคุม (ไม่ใส่วัสดุบำบัด) มีประสิทธิภาพการดูดซับน้อยที่สุด
($10.71 \pm 0.02\%$)

2.1.1.3 วันที่ 3 ประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนีย ค่าคุณภาพน้ำที่ผ่านการเลี้ยง
(แอมโมเนีย) เปรียบเทียบกับคุณภาพน้ำในถังบำบัดมีค่าแตกต่างกัน โดยค่าของแอมโมเนียในถัง
บำบัดจะมีค่าน้อยกว่าเห็นได้ชัดเจน เมื่อคำนวณค่าประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียด้วยวัสดุ
บำบัด พบว่า ในชุดการทดลองที่ 6 (เปลือกหอยนางรม 100%) มีประสิทธิภาพการดูดซับได้ดีที่สุด
($81.16 \pm 0.02\%$) และแตกต่างกับชุดการทดลองอื่นๆ ($p < 0.05$) รองลงมาได้แก่ชุดการทดลองที่ 5, 2,
3 และ 7 (สาหร่ายหางกระรอก : เปลือกหอยนางรม, สาหร่ายหางกระรอก 100% , สาหร่ายหาง
กระรอก : ซีโอไลด์, ซีโอไลด์ : เปลือกหอยนางรม, และซีโอไลด์ 100%) มีค่าเท่ากับ 73.17 ± 0.02 ,
 72.73 ± 0.02 , 54.17 ± 0.03 , 51.43 ± 0.02 , $40.00 \pm 0.03\%$ ตามลำดับ และประสิทธิภาพการดูดซับ
แอมโมเนีย ในชุดการทดลองที่ 1 (ชุดควบคุม) มีค่าประสิทธิภาพการดูดซับต่ำที่สุด ($21.92 \pm 0.03\%$)
($p < 0.05$)

2.1.1.4 วันที่ 4 ประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนีย เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง
ปริมาณแอมโมเนียในตู้เลี้ยงปลาและปริมาณแอมโมเนียที่ผ่านระบบบำบัด ในแต่ละชุดการทดลอง
มีค่าแตกต่างกัน โดยค่าแอมโมเนียในตู้เลี้ยงปลาจะสูงกว่าในถังบำบัด เมื่อคำนวณประสิทธิภาพการ
ดูดซับ พบว่า ในชุดการทดลองที่ 7 (ซีโอไลด์ : เปลือกหอยนางรม) มีประสิทธิภาพการดูดซับได้ดี
ที่สุด ($83.33 \pm 0.02\%$) และแตกต่างกับชุดการทดลองอื่นๆ ($p < 0.05$) รองลงมาได้แก่ ชุดการทดลอง
ที่ 3, 5, 2, 6 และ 4) (สาหร่ายหางกระรอก : เปลือกหอยนางรม, สาหร่ายหางกระรอก : ซีโอไลด์,
สาหร่ายหางกระรอก 100%, เปลือกหอยนางรม 100% และซีโอไลด์ 100%) โดยมีค่าเท่ากับ
 75.00 ± 0.03 , 74.07 ± 0.02 , 72.73 ± 0.02 , 66.67 ± 0.02 และ $35.17 \pm 0.03\%$ ตามลำดับ และชุดการ
ทดลองที่ 1 (ชุดควบคุม) มีประสิทธิภาพการดูดซับน้อยที่สุด ($27.08 \pm 0.01\%$) และแตกต่างกับชุด
การทดลองอื่นๆ ($p < 0.05$)

2.1.1.5 วันที่ 5 ประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนีย เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง
ปริมาณแอมโมเนียในตู้เลี้ยงปลากับปริมาณแอมโมเนียที่ผ่านระบบบำบัด ในแต่ละชุดการทดลอง
มีค่าแตกต่างกัน ปริมาณแอมโมเนียในถังบำบัดจะลดลงครึ่งหนึ่งของตู้เลี้ยงปลา เมื่อนำค่าปริมาณ

แอมโมเนียระหว่างในตู้และถึงบ้ำบักมำคำนวณประสิทธิภาพการดูดซับพบว่า ในชุดการทดลองที่ 3 (สาหร่ายหางกระรอก : ซีโอไลต์) มีประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียได้สูงที่สุด ($70.00 \pm 0.03\%$) และแตกต่างกับชุดการทดลองอื่นๆ ($p < 0.05$) ทุกชุดการทดลอง รองลงมาได้แก่ชุดการทดลองที่ 5, 2, 7, 4 และ 6 (สาหร่ายหางกระรอก : เปลือกหอยนางรม, สาหร่าย 100%, ซีโอไลต์ : เปลือกหอยนางรม, ซีโอไลต์ 100% และเปลือกหอยนางรม 100%) โดยมีค่าเท่ากับ 66.67 ± 0.02 , 60.00 ± 0.02 , 54.55 ± 0.03 , 50.00 ± 0.02 และ $46.15 \pm 0.03\%$ ตามลำดับ และชุดการทดลองที่ 1 (ชุดควบคุม) มีประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียน้อยที่สุด ($20.83 \pm 0.02\%$) และแตกต่างกับชุดการทดลองอื่นๆ ทุกชุดการทดลอง ($p < 0.05$)

2.1.1.6 วันที่ 6 ประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนีย เมื่อเปรียบเทียบระหว่างปริมาณแอมโมเนียในตู้เลี้ยงปลากับปริมาณแอมโมเนียที่ผ่านถึงบ้ำบัก ในแต่ละชุดการทดลองมีค่าแตกต่างกัน โดยปริมาณแอมโมเนียในถึงบ้ำบักจะลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณแอมโมเนียในตู้เลี้ยงปลาและเมื่อค่าความแตกต่างของปริมาณแอมโมเนียในตู้และในถึงบ้ำบักมำคำนวณค่าประสิทธิภาพการดูดซับ พบว่า ในชุดการทดลองที่ 3 (สาหร่ายหางกระรอก : ซีโอไลต์) มีประสิทธิภาพการดูดซับสูงที่สุด ($62.50 \pm 0.04\%$) และแตกต่างกับชุดการทดลองอื่นๆ ($p < 0.05$) ทุกชุดการทดลอง รองลงมา ได้แก่ ชุดการทดลองที่ 4, 5, 2, 7 และ 6 (ซีโอไลต์ 100%, สาหร่ายหางกระรอก : เปลือกหอยนางรม, สาหร่าย 100%, ซีโอไลต์ : เปลือกหอยนางรม และเปลือกหอยนางรม 100%) โดยมีค่าเท่ากับ 60.00 ± 0.04 , 54.55 ± 0.03 , 50.00 ± 0.03 , 40.00 ± 0.02 และ $33.33 \pm 0.03\%$ ตามลำดับ และชุดการทดลองที่ 1 (ชุดควบคุม) มีประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียน้อยที่สุด ($18.18 \pm 0.02\%$) และแตกต่างกับชุดการทดลองอื่นๆ ทุกชุดการทดลอง ($p < 0.05$)

ตารางที่ 5 ประสิทธิภาพการดูดซับในแต่ละชุดการทดลองระยะเวลา 6 วัน¹

ชุดการทดลอง	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4	วันที่ 5	วันที่ 6
	%การดูดซับ	%การดูดซับ	%การดูดซับ	%การดูดซับ	%การดูดซับ	%การดูดซับ
1.ควบคุม	6.02±0.02 ^b	10.71±0.02 ^a	21.92±0.03 ^a	27.08±0.01 ^a	20.83±0.02 ^a	18.18±0.02 ^a
2.สาหร่าย 100%	5.45±0.05 ^a	51.92±0.02 ^c	72.73±0.02 ^c	72.73±0.02 ^d	60.00±0.02 ^c	50.00±0.03 ^d
3.สาหร่าย: ซีโอไลต์	57.04±0.02 ^f	65.79±0.01 ^e	54.17±0.03 ^d	75.00±0.03 ^e	70.00±0.03 ^e	62.50±0.04 ^e
4.ซีโอไลต์ 100%	48.81±0.02 ^c	63.16±0.02 ^f	40.00±0.03 ^b	35.17±0.03 ^b	50.00±0.02 ^c	60.00±0.04 ^f
5.สาหร่าย: เปลือกหอย	51.28±0.03 ^d	38.89±0.01 ^c	73.17±0.02 ^f	74.07±0.02 ^f	66.67±0.02 ^f	54.55±0.03 ^c
6.เปลือกหอย 100%	48.84±0.04 ^c	46.38±0.02 ^d	81.16±0.02 ^e	66.67±0.02 ^c	46.15±0.03 ^b	33.33±0.03 ^b
7.ซีโอไลต์: เปลือกหอย	52.24±0.02 ^c	36.96±0.02 ^b	51.43±0.02 ^c	83.33±0.02 ^e	54.55±0.03 ^d	40.00±0.02 ^c

¹ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ)

ค่าเฉลี่ยในแนวดิ่งที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับหมายถึงค่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (p> 0.05)

2.2 ประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียในรอบสัปดาห์

การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียในรอบสัปดาห์ รวมทั้งสิ้น 6 สัปดาห์ (ตารางที่ 6) โดยคำนวณจากค่าปริมาณแอมโมเนียในตู้เปรียบเทียบกับปริมาณแอมโมเนียที่ผ่านการบำบัดในถังบำบัด พบว่า

2.2.1 สัปดาห์ที่ 1 ประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียในชุดการทดลองที่ 3 (สาหร่ายหางกระรอก : ซีโอไลต์) มีประสิทธิภาพการดูดซับสูงที่สุด (68.42±0.03%) และแตกต่างกับชุดการทดลองอื่นๆ (p<0.05) ทุกชุดการทดลอง รองลงมาได้แก่ ชุดการทดลองที่ 5, 2, 6, 7 และ 4 สาหร่ายหางกระรอก : เปลือกหอยนางรม, สาหร่ายหางกระรอก 100%, เปลือกหอยนางรม 100%, ซีโอไลต์ : เปลือกหอยนางรม และซีโอไลต์ 100%) มีค่าเท่ากับ 60.00±0.04, 60.00±0.04, 46.15±0.03, 45.45±0.03 และ 40.00±0.05%) ตามลำดับและชุดการทดลองที่ 1 (ชุดควบคุม) มีประสิทธิภาพการดูดซับน้อยที่สุด (21.74±0.03%) (p<0.05) (ตารางที่ 6)

2.2.2 สัปดาห์ที่ 2 ประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียในชุดการทดลองที่ 5 (สาหร่ายหางกระรอก : เปลือกหอยนางรม) มีประสิทธิภาพการดูดซับสูงที่สุด ($60.00 \pm 0.03\%$) และแตกต่างกับชุดการทดลองอื่นๆ ($p < 0.05$) ทุกชุดการทดลอง รองลงมาได้แก่ ชุดการทดลองที่ 6, 7, 4, 2 และ 3 (เปลือกหอยนางรม 100%, ซีโอไลต์ : เปลือกหอยนางรม, ซีโอไลต์ 100%, สาหร่ายหางกระรอก 100% และสาหร่ายหางกระรอก : ซีโอไลต์) มีค่าเท่ากับ 55.21 ± 0.03 , 53.19 ± 0.03 , 50.00 ± 0.02 , 46.51 ± 0.04 และ $41.33 \pm 0.02\%$) ตามลำดับ และชุดการทดลองที่ 1 (ชุดควบคุม) มีประสิทธิภาพการดูดซับน้อยที่สุด ($35.14 \pm 0.02\%$) ($p < 0.05$) (ตารางที่ 6)

2.2.3 สัปดาห์ที่ 3 ประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียในชุดการทดลองที่ 2 (สาหร่ายหางกระรอก 100%) มีประสิทธิภาพการดูดซับสูงที่สุด ($65.12 \pm 0.02\%$) และแตกต่างกับชุดการทดลองอื่นๆ ($p < 0.05$) ทุกชุดการทดลอง รองลงมาได้แก่ ชุดการทดลองที่ 7, 6, 4, 5 และ 3 (ซีโอไลต์ : เปลือกหอยนางรม, เปลือกหอยนางรม 100%, ซีโอไลต์ 100%, สาหร่ายหางกระรอก : เปลือกหอยนางรม และสาหร่ายหางกระรอก : ซีโอไลต์) มีค่าเท่ากับ 57.44 ± 0.03 , 52.27 ± 0.03 , 51.02 ± 0.02 , 50.00 ± 0.04 และ $44.19 \pm 0.02\%$) ตามลำดับ และชุดการทดลองที่ 1 (ชุดควบคุม) มีประสิทธิภาพการดูดซับน้อยที่สุด ($36.36 \pm 0.03\%$) ($p < 0.05$) (ตารางที่ 6)

2.2.4 สัปดาห์ที่ 4 ประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียในชุดการทดลองที่ 4 (ซีโอไลต์ 100%) มีประสิทธิภาพการดูดซับสูงที่สุด ($54.55 \pm 0.02\%$) และแตกต่างกับชุดการทดลองอื่นๆ ($p < 0.05$) ทุกชุดการทดลอง รองลงมาได้แก่ ชุดการทดลองที่ 3, 7, 2, 5 และ 6 (สาหร่ายหางกระรอก : ซีโอไลต์, ซีโอไลต์ : เปลือกหอยนางรม, สาหร่ายหางกระรอก 100%, สาหร่ายหางกระรอก : เปลือกหอยนางรม และ เปลือกหอยนางรม 100%) มีค่าเท่ากับ 51.35 ± 0.03 , 37.14 ± 0.04 , 37.04 ± 0.03 , 32.14 ± 0.02 และ $30.76 \pm 0.03\%$) ตามลำดับ และชุดการทดลองที่ 1 (ชุดควบคุม) มีประสิทธิภาพการดูดซับน้อยที่สุด ($22.22 \pm 0.02\%$) ($p < 0.05$) (ตารางที่ 6)

2.2.5 สัปดาห์ที่ 5 ประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียในชุดการทดลองที่ 6 (เปลือกหอยนางรม 100%) มีประสิทธิภาพการดูดซับสูงที่สุด ($51.35 \pm 0.03\%$) และแตกต่างกับชุดการทดลองอื่นๆ ($p < 0.05$) ทุกชุดการทดลอง รองลงมาได้แก่ ชุดการทดลองที่ 7, 2, 5, 4 และ 3 (ซีโอไลต์ : เปลือกหอยนางรม, สาหร่ายหางกระรอก 100%, สาหร่ายหางกระรอก : เปลือกหอยนางรม, ซีโอไลต์ 100% และ สาหร่ายหางกระรอก : ซีโอไลต์%) มีค่าเท่ากับ 41.67 ± 0.02 , 37.50 ± 0.04 , 35.29 ± 0.03 , 33.33 ± 0.03 และ $26.67 \pm 0.03\%$) ตามลำดับ และชุดการทดลองที่ 1 (ชุดควบคุม) มีประสิทธิภาพการดูดซับน้อยที่สุด ($16.13 \pm 0.02\%$) ($p < 0.05$) (ตารางที่ 6)

2.2.6 สัปดาห์ที่ 6 ประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียในชุดการทดลองที่ 2 (สาหร่ายหางกระรอก 100%) มีประสิทธิภาพการดูดซับสูงที่สุด และแตกต่างกับชุดการทดลองอื่นๆ ($p<0.05$) ทุกชุดการทดลอง รองลงมาได้แก่ ชุดการทดลองที่ 5, 3, 4, 7 และ 6 (สาหร่ายหางกระรอก :เปลือกหอยนางรม, สาหร่ายหางกระรอก :ชีโอไลต์, ชีโอไลต์ 100%, ชีโอไลต์ :เปลือกหอยนางรม และเปลือกหอยนางรม 100%) มีค่าเท่ากับ 48.39 ± 0.04 , 40.00 ± 0.03 , 21.43 ± 0.03 , 18.52 ± 0.02 และ $13.04\pm0.03\%$) ตามลำดับ และชุดการทดลองที่ 1 (ชุดควบคุม) มีประสิทธิภาพการดูดซับน้อยที่สุด ($3.70\pm0.05\%$) ($p<0.05$) (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 6 ประสิทธิภาพดูดซับแอมโมเนียในแต่ละชุดการทดลองระยะเวลา 6 สัปดาห์¹

ชุดการทดลอง	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 5	สัปดาห์ที่ 6
	%การดูดซับ	%การดูดซับ	%การดูดซับ	%การดูดซับ	%การดูดซับ	%การดูดซับ
1.ควบคุม	21.74 ± 0.03^a	35.14 ± 0.02^a	36.36 ± 0.03^a	22.22 ± 0.02^a	16.13 ± 0.02^a	3.70 ± 0.05^a
2.สาหร่าย 100%	60.00 ± 0.04^e	46.51 ± 0.04^c	65.12 ± 0.02^f	37.04 ± 0.03^d	37.50 ± 0.04^c	56.67 ± 0.03^g
3.สาหร่าย:ชีโอไลต์	68.42 ± 0.03^f	41.33 ± 0.02^b	44.19 ± 0.02^b	51.35 ± 0.03^f	26.67 ± 0.03^b	40.00 ± 0.03^c
4.ชีโอไลต์ 100%	40.00 ± 0.05^b	50.00 ± 0.02^d	54.55 ± 0.02^g	51.02 ± 0.02^c	33.33 ± 0.03^c	21.43 ± 0.03^d
5.สาหร่าย:เปลือกหอย	60.00 ± 0.04^e	60.00 ± 0.03^g	50.00 ± 0.04^c	32.14 ± 0.02^c	35.29 ± 0.03^d	48.39 ± 0.04^f
6.เปลือกหอย 100%	46.15 ± 0.03^d	55.21 ± 0.03^f	52.27 ± 0.03^d	51.35 ± 0.03^g	30.76 ± 0.03^b	13.04 ± 0.03^b
7.ชีโอไลต์:เปลือกหอย	45.45 ± 0.03^c	53.19 ± 0.03^e	57.44 ± 0.03^e	41.67 ± 0.02^f	37.14 ± 0.04^c	18.52 ± 0.02^c

¹ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ)
ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับหมายถึงค่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

อภิปรายผล

ผลการศึกษาการใช้วัสดุธรรมชาติ พวกชีโอไลต์ธรรมชาติ เปลือกหอยนางรม และสาหร่ายหางกระรอก โดยนำมาเป็นวัสดุบำบัดแอมโมเนียในลักษณะผสมผสานร่วมกัน ได้แก่ การใช้สาหร่ายหางกระรอก 100%, สาหร่ายหางกระรอก 50% : ชีโอไลต์ 50%, ชีโอไลต์ 100%, สาหร่ายหางกระรอก 50% : เปลือกหอยนางรม 50%, เปลือกหอยนางรม 100%, ชีโอไลต์ 50% :

เปลือกหอยนางรม 50% และชุดควบคุมซึ่งไม่ใช่วัสดุบำบัด ในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงปลานิลแดงแปลงเพศ โดยทำการศึกษาปริมาณแอมโมเนีย – ในโตรเจนในตัวอย่างน้ำทิ้งในตู้เลี้ยงปลานิลแดงแปลงเพศ และในถังบำบัด หลังผ่านการบำบัด จากการศึกษา พบว่า การเจริญเติบโตของปลานิลแดงแปลงเพศที่เลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียนแบบปิดที่มีวัสดุบำบัดทั้ง 3 ชนิดข้างต้น จะเห็นได้ว่าระยะเวลามีผลต่อการเจริญเติบโตของปลา โดยพบว่า ตั้งแต่เริ่มต้นการทดลองเลี้ยง จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลองในสัปดาห์ที่ 8 การเจริญเติบโตของปลาที่เลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียนที่มีซีโอไลต์ 100% (ชุดการทดลองที่ 4) ปลามีการเจริญเติบโตโดยมีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัมต่อตัว) สูงที่สุด รองลงมาได้แก่ปลานิลกลุ่มที่เลี้ยงในระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดที่มีสาหร่าย 100% เป็นวัสดุบำบัด แต่ไม่แตกต่างกันกับปลานิลที่เลี้ยงระบบน้ำหมุนเวียนแบบปิดที่มีสาหร่ายหางกระรอก 50% : เปลือกหอยนางรม 50%, เปลือกหอยนางรม 100%, ซีโอไลต์ 50% : เปลือกหอยนางรม 50% และค่าการเจริญเติบโตดังกล่าวข้างต้นสอดคล้องกับเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ อัตราการกินอาหาร ซึ่งผลการศึกษาดังกล่าวสอดคล้องกับ Baskerville-Bridges และ Kling (2000) ที่กล่าวว่า การเลี้ยงในระบบปิดสามารถควบคุมผลกระทบจากสิ่งแวดล้อมภายนอกที่ผันแปรได้ตลอดเวลา ลดปัญหาการเสี่ยงต่อโรค ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ ระบบบำบัดน้ำที่ใช้วัสดุบำบัดทั้ง 3 ชนิดมีผลต่อการเจริญเติบโตของปลานิลด้วย เนื่องจากในการทดลองครั้งนี้ปลานิลในกลุ่มที่เลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียนแบบปิดที่มีซีโอไลต์เป็นวัสดุบำบัด ปลานิลมีการเจริญเติบโตดีที่สุด รวมทั้งค่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และอัตราการกินอาหาร ก็อยู่ในเกณฑ์ดี อาจเนื่องมาจากการที่ซีโอไลต์มีคุณสมบัติในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา นอกจากนี้ยังมีโครงสร้างเป็นรูพรุนสามารถดูดซับสารต่างๆ ได้และซีโอไลต์ยังสามารถลดความกระด้างของน้ำได้ด้วย และยังใช้แทนฟอสเฟตซึ่งสามารถทำให้พืชน้ำหรือสัตว์น้ำมีการเจริญเติบโตได้เร็วด้วย (คนัสนันท์ และอุทัยวรรณ (2548), Van Gorder, 1994) และจากการศึกษายังพบว่าปลานิลกลุ่มที่เลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียนแบบปิดที่มีสาหร่ายหางกระรอก 100% ก็ยังมีค่าการเจริญเติบโตไม่แตกต่างกันกับปลานิลที่เลี้ยงในระบบน้ำที่มีซีโอไลต์เป็นวัสดุบำบัด อาจกล่าวได้ว่าการบำบัดน้ำถ้าในระบบบำบัดมีการเติมเชื้อแบคทีเรียหรือสาหร่ายเพื่อการบำบัด หรือเพิ่มปริมาณความจุของชุดระบบน้ำหมุนเวียนให้มีประสิทธิภาพในการบำบัดดีขึ้น ก็จะเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดเพื่อลดสารประกอบในโตรเจนได้ดีขึ้น และมีผลทำให้อัตราการเจริญเติบโตของปลาสูงขึ้น (คณิต และขงยุทธ, 2549) ในการศึกษาครั้งนี้เมื่อทดลองเลี้ยงปลานิลในระยะเวลาที่นานขึ้น คือ เพิ่มระยะเวลาจาก 6 สัปดาห์เป็น 8 สัปดาห์ ปลานิลที่เลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียนที่มีวัสดุทั้ง 3 ชนิดในการบำบัด ปลายังมีแนวโน้มการเจริญเติบโตที่เพิ่มสูงขึ้น แต่น้ำมีคุณสมบัติเลวลงจนระบบบำบัด

ไม่สามารถบำบัดน้ำได้อีกทำให้ปลานิลเริ่มมีการตายและมีพฤติกรรมว่ายน้ำควงส่วนทรงตัวไม่ได้เนื่องจากมีปริมาณแอมโมเนียที่สูงเกินระดับความสามารถของวัสดุบำบัดที่จะบำบัดต่อไป

เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียของวัสดุบำบัดแต่ละชนิดจากการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียในรอบวัน รวมระยะเวลา 6 วัน และในรอบสัปดาห์ รวม 6 สัปดาห์ พบว่า วัสดุบำบัดแต่ละชนิดมีประสิทธิภาพในการดูดซับหรือการกำจัดแอมโมเนียไม่คงที่สม่ำเสมอ และวัสดุบำบัดบางชนิดมีประสิทธิภาพการดูดซับค่อนข้างต่ำ อาจเนื่องมาจากระบบที่ใช้ (ถังใส่วัสดุบำบัด) มีปริมาตรความจุน้อย (วัสดุบำบัดมีปริมาตรถังละ 1 กิโลกรัม) แต่ปริมาณของเสียที่ปลานิลขับถ่ายออกมารวมทั้งเศษอาหารที่ปลากินไม่หมดยังคงเหลือตกค้างอยู่ในระบบจึงเป็นสาเหตุที่ทำให้ระบบบำบัดมีประสิทธิภาพการดูดซับไม่คงที่ และจะเห็นได้ว่าระยะเวลามีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับแอมโมเนียของวัสดุบำบัดแต่ละชนิด โดยชุดการทดลองที่ใช้ซีโอไลด์เป็นวัสดุบำบัดจะมีประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียได้ในช่วงสัปดาห์แรกๆ แต่จะมีประสิทธิภาพลดน้อยลงเมื่อผ่านไป 4-5 สัปดาห์ ส่วนชุดการทดลองที่มีสาหร่ายหางกระรอกและซีโอไลด์ร่วมกันจะมีประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียได้ดีในช่วงสัปดาห์สุดท้าย

การเลี้ยงปลานิลในระบบปิดจะทำให้เกิดการสะสมตัวของธาตุอาหารโดยเฉพาะสารประกอบไนโตรเจนที่เป็นพิษต่อปลา คือแอมโมเนีย ซึ่งการกินอาหารของปลาจะทำให้ขับถ่ายแอมโมเนียออกมาด้วย นอกจากนี้อาหารที่เหลือในตู้เลี้ยงปลาจะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ จุลินทรีย์เหล่านี้จะย่อยสารอินทรีย์แล้วปลดปล่อยแอมโมเนียออกมา (พุทธ และคณะ, 2543) จากการศึกษาในครั้งนี้จะเห็นการสะสมของแอมโมเนียได้ชัดเจน ซึ่งจากการศึกษาพบว่าการเจริญเติบโตของปลานิลตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 6 สัปดาห์ ปลาที่เลี้ยงในชุดการทดลองที่ 4 ซึ่งมีซีโอไลด์เป็นวัสดุบำบัดทำให้ปลามีอัตราการเจริญเติบโตสูงสุด โดยในสัปดาห์ที่ 2 ซีโอไลด์จะมีประสิทธิภาพสูงและจะลดประสิทธิภาพลงจนถึงสัปดาห์ที่ 6 ของการเลี้ยง เป็นผลจากประสิทธิภาพของซีโอไลด์ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโต ส่วนประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียในช่วงระยะเวลา 1 สัปดาห์แรกพบว่า ในแต่ละชุดการทดลองมีประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียได้ไม่แตกต่างกันมากนัก แต่ในช่วง 6 สัปดาห์ของการทดลอง พบว่า ประสิทธิภาพการดูดซับเริ่มมีการเปลี่ยนแปลง จะเห็นการเปลี่ยนแปลงได้ชัดในช่วงสัปดาห์ที่ 2 และ 3 ในชุดการทดลองที่มีซีโอไลด์เป็นวัสดุบำบัดจะมีประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียได้ดีที่สุด ส่วนในสัปดาห์ที่ 5 และ 6 ในชุดการทดลองที่มีสาหร่ายเป็นวัสดุบำบัดเริ่มมีมีประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียได้ดีที่สุด ดังนั้นระบบบำบัดน้ำที่ใช้ชีวภาพร่วมกันสามารถนำมาพัฒนาเพื่อการบำบัดในการเลี้ยงสัตว์น้ำได้ แต่ต้องขึ้นอยู่กับ ชนิดของสัตว์น้ำที่เลี้ยง อัตราการปล่อย อัตราการไหลเวียนน้ำ อัตราการให้อาหารและปริมาณของเสียที่เกิดขึ้น และผลผลิตที่ต้องการ และสิ่งสำคัญที่ขาดไม่ได้ คือ จะเลือกวัสดุบำบัดชนิดใดให้เหมาะสม

กับสัตว์น้ำที่เลี้ยง การนำวิธีการบำบัดและวัสดุบำบัดแต่ละชนิดมาใช้ต้องคำนึงถึงความเหมาะสมด้วย

สำหรับอัตราการรอดตายของปลานิลแดงแปลงเพศ จากการศึกษาพบว่า เมื่อสิ้นสุดการทดลองของการตรวจสอบคุณภาพน้ำในสัปดาห์ที่ 6 และเลี้ยงปลาต่อไปอีก 2 สัปดาห์ พบว่าคุณภาพน้ำที่ใช้ในการเลี้ยงปลาเริ่มมีคุณภาพเลวลงในทุกๆ พารามิเตอร์ และปลานิลเริ่มแสดงอาการผิดปกติ เช่น ลอยหัว ว่ายน้ำควงส่วาน และมีการตายเกิดขึ้น จากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพของวัสดุบำบัด เริ่มมีสภาพที่ไม่สามารถดูดซับปริมาณแอมโมเนียที่มีในระบบเลี้ยงได้