เปรียบเทียบระบบการเลี้ยงปลานิลแดง (*Oreochromis niloticus* × *O. mossambicus*) ปลอดภัยมุ่งสู่อินทรีย์

อลิสรา ขันโท

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ
มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2563

เปรียบเทียบระบบการเลี้ยงปลานิลแดง (*Oreochromis niloticus* × *O. mossambicus*) ปลอดภัยมุ่งสู่อินทรีย์

อลิสรา ขันโท

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ
สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2563

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

เปรียบเทียบระบบการเลี้ยงปลานิลแดง (*Oreochromis niloticus* × *O. mossambicus*) ปลอดภัยมุ่งสู่อินทรีย์

อลิสรา ขันโท

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ

พิจารณาเห็นชอบโดย **อาจารย์ที่ปรึกษา**

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จงกล พรมยะ)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนกันต์ จิตมนัส)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุดมลักษณ์ สมพงษ์)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

ประธานอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุดมลักษณ์ สมพงษ์)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการรับรองแล้ว .....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ญาณิน โอภาสพัฒนกิจ)
รักษาการแทนรองอธิการบดี ปฏิบัติการแทน
อธิการบดีมหาวิทยาลัยแม่โจ้
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

ชื่อเรื่อง เปรียบเทียบระบบการเลี้ยงปลานิลแดง (*Oreochromis niloticus × O. mossambicus*) ปลอดภัยมุ่งสู่อินทรีย์

ชื่อผู้เขียน นางสาวอลิสรา ขันโท

ชื่อปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จงกล พรมยะ

บทคัดย่อ

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบระบบการเลี้ยงปลานิลแดง (*Oreochromis niloticus × O. mossambicus*) ในระบบปิดแบบทั่วไปและระบบปิดแบบไบโอฟลอค โดยแบ่งการทดลองเป็น 2 การทดลอง การทดลองแรกเป็นการอนุบาลลูกปลานิลแดง แบ่งเป็น 3 ชุดการทดลอง ๆ ละ 3 ซ้ำ คืออนุบาลในระบบปิดแบบใช้หัวทราย (T1) กรองหิน (T2) และระบบไบโอฟลอค (T3) โดยปล่อยลูกปลานิลแดงที่มีน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 0.53±0.02 – 0.58±0.02 กรัม/ตัว อัตราการปล่อย 50 ตัว/ตารางเมตรในบ่อซีเมนต์กลม อนุบาลเป็นระยะเวลา 120 วัน สุ่มลูกปลานิลแดงมาศึกษาปัจจัยการเจริญเติบโตและวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ทุก ๆ 15 วัน ส่วนการทดลองที่ 2 เลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบทั่วไปเปรียบเทียบกับระบบปิดแบบไบโอฟลอค แบ่งการทดลองเป็น 4 ชุดการทดลอง ๆ ละ 3 ซ้ำ คือ ระบบปิดแบบทั่วไปให้อาหาร 3 เปอร์เซ็นต์ ระบบปิดแบบไบโอฟลอคให้อาหาร 1.5, 3 และ 4.5 เปอร์เซ็นต์ ปล่อยปลาน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 45.00±0.87- 45.33±0.76 กรัม/ตัว อัตราการปล่อย 68 ตัว/บ่อ ในบ่อซีเมนต์ขนาด 1.5×1.5×0.7 เมตร สุ่มเก็บข้อมูลชั่งน้ำหนักปลา 21 ตัว/บ่อ ทุก ๆ 15 วัน เป็นเวลา 150 วัน ศึกษาปัจจัยการเจริญเติบโต ดัชนีความสมบูรณ์เพศ ระบบภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะ คุณค่าทางโภชนาการและปริมาณโลหะหนักในเนื้อปลา ความหลากหลายของแพลงก์ตอน คุณภาพน้ำและต้นทุนการผลิต ผลการศึกษาพบว่า ลูกปลานิลแดงที่อนุบาลในระบบปิดแบบไบโอฟลอคมีอัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (0.23±0.00 กรัม/ตัว/วัน) อัตราการรอดตาย (90.00±1.53 เปอร์เซ็นต์) และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (2.06±0.17) ดีกว่าลูกปลาที่อนุบาลในระบบปิดแบบใช้หัวทรายและกรองหิน อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) คุณภาพน้ำในบ่ออนุบาลลูกปลานิลแดงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคพบปัจจัยคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีที่เหมาะสมกว่าระบบปิดแบบใช้หัวทรายและกรองหินอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ส่วนผลการเลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบทั่วไปเปรียบเทียบกับระบบปิดแบบไบโอฟลอค พบว่าปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอค ให้อาหาร 1.5, 3 และ 4.5 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำหนักตัวเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (346.00±0.01,

328.00±1.00 และ 349.50±0.50 กรัม/ตัว) น้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่ม (300.67±0.76, 282.83±0.76 และ 304.33±1.04 กรัม/ตัว) อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (2.01±0.01, 1.89±0.01 และ2.03±0.01 กรัม/ตัว/วัน) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (1.35±0.01, 1.32±0.01 และ1.36±0.01 เปอร์เซ็นต์/วัน) และอัตราการรอดตาย (81.19±1.00, 86.99±0.32 และ 85.01±0.60 เปอร์เซ็นต์) ดีกว่าปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบทั่วไปให้อาหาร 3 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ดัชนีความสมบูรณ์เพศของปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอค ให้อาหาร 4.5 เปอร์เซ็นต์ (1.12±0.01 เปอร์เซ็นต์) ดีกว่าทั้ง 3 ชุดการทดลองอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะของปลาที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคดีกว่าปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบทั่วไปอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) คุณค่าทางโภชนาการในเนื้อปลาทั้ง 4 ชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกัน พบปริมาณของปรอทในเนื้อปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคทั้ง 3 ชุดการทดลอง แต่ไม่พบในเนื้อปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบทั่วไป ซึ่งยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานความปลอดภัยต่อผู้บริโภค ปัจจัยคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีทั้ง 4 ชุดการทดลองอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในบ่อที่เลี้ยงปลานิลแดงในระบบไบโอฟลอคทั้ง 3 ชุดการทดลองลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ต้นทุนการผลิตของระบบปิดแบบทั่วไปให้อาหาร 3 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 44.75±0.71 บาท/กิโลกรัม ต่ำกว่าทั้ง 3 ชุดการทดลองอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) สรุปได้ว่าการเลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบไบโอฟลอค มีความเหมาะสมและสามารถพัฒนาไปสู่การเลี้ยงแบบอินทรีย์ได้

คำสำคัญ : ปลานิลแดง, ระบบไบโอฟลอค, ระบบปิดแบบทั่วไป, อินทรีย์

Title	Comparison for culture of Red tilapia (*Oreochromis niloticus × O. mossambicus*) system safety towards organic
Author	Miss Alissara Khunto
Degree	Master of Science in Fisheries Technology and Aquatic Resources
Advisory Committee Chairperson	Assistant Professor Dr. Jongkon Promya

ABSTRACT

The objective of this experiment was to compare the culture systems of red tilapia (*Oreochromis niloticus × O. mossambicus*) between the general closed system and the biofloc system. The experiment was divided into 2 sets. The first experiment was the nursery of red tilapia larvae. This experiment consisted of 3 treatments, 3 replications each including nursing closed system using sand air stone (T1), rock filtration system (T2) and biofloc system (T3). At the beginning fish weight was 0.53±0.02 to 0.58±0.02 grams/fish. The releasing rate was 50 fishes/square meter in a circle cement pond. Nursing had been carried out for 120 days. Fish were randomly collected every 15 days for investigation of weight gain and growth performances as well as water quality. For the second experiment, culturing red tilapia, this experiment was divided into 4 treatments, 3 replications each including raising red tilapia in a closed system feeding 3% of their *body weight* compared with the biofloc system feeding 1.5, 3, and 4.5 percent of body weight. Average initial weight was 0.53±0.02–0.58±0.02 g/fish. The stocking rate was 68 fish/pond in a pond of 1.5 × 1.5 × 0.7 meters 21 fish/pond of fish had been randomly sampled every 15 days for 150 days to determine growth performances, gonadosomatic index, lysozyme activity assay, nutritional value and content of heavy metals in fish flesh, plankton variety, water quality, and production costs. It was found that fish nursed in closed biofloc system had average daily growth of 0.23±0.00 g/fish/day, survival rate 90.00±1.53 percent and feed conversion rate 2.06±0.17; all were significantly ($p<0.05$)

better than the ones in closed system using sand air stone and rock filtration system. Water quality in pond of nursing closed biofloc system had a quality better than closed system using sand air stone and rock filtration system with a statistical significance ($p<0.05$). The results showed that the red tilapia fed in the biofloc system providing food formulas 1.5, 3, and 4.5 percent of body weight had final individual weight of 346.00±0.01, 328.00±1.00 and 349.50±0.50 g/fish, weight gain of 300.67±0.76, 282.83±0.76 and 304.33±1.04 g/fish. Average daily growth was 2.01±0.01, 1.89±0.01 and 2.03±0.01 g/fish/day, specific growth rate was 1.35±0.01, 1.32±0.01 and 1.36±0.01 percent/day and survival rate was 81.19±1.00, 86.99±0.32 and 85.01±0.60 percent which were significantly better than fish raised in the general closed system ($p<0.05$). Gonadosomatic Index of red tilapia cultured in the biofloc system feeding 4.5 percent of body weight (1.12±0.01 percent) was significantly higher than all 3 treatments ($p<0.05$). In all 3 treatments lysozyme activity assay of the red tilapia cultured in the biofloc system was better than the red tilapia fed in the general closed system ($p<0.05$). The nutritional values in all 4 fish treatments were not different. Mercury found in red tilapia fed in the biofloc system, was due in all 3 treatments except in the red tilapia cultured in the general closed system; however, it was within the safety standards for consumers. Physical and chemical water quality factors in all 4 experiments were in the appropriate criteria for aquaculture. The ammonia-nitrogen content in all 3 ponds of red tilapia raised in the biofloc system decreased. Red tilapia in a closed system feeding 3% of their body weight reduced cost to 44.75±0.71 Baht/ kg which was cheaper than other 3 treatments. In conclusion, the culture of red tilapia in the biofloc system is appropriate and can be developed into organic farming.

Keywords : Red Tilapia, Biofloc system, General closed system, Organic

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลงได้ด้วยความอนุเคราะห์และความร่วมมือจากหลายฝ่ายด้วยกัน ซึ่งทางผู้วิจัยขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้ “ทุนศิษย์ก้นกุฏิ” ที่ให้การสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จงกล พรมยะ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนกันต์ จิตมนัส และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุดมลักษณ์ สมพงษ์ คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนะวิธีการดำเนินงานวิจัยและให้กำลังใจมาโดยตลอด รวมทั้งอนุเคราะห์สถานที่ในการทำงานวิจัยในครั้งนี้และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพบูลย์ ปะนาเส สาขาวิชาการประมง คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยพะเยา ที่ได้สละเวลามาเป็นประธานกรรมการสอบในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณคณาจารย์ และเจ้าหน้าที่ คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ได้ให้การสนับสนุนอนุเคราะห์สถานที่และอำนวยความสะดวกในการทำงานวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

อลิสรา ขันโท

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ช

สารบัญ ..... ซ

สารบัญตาราง ..... ฎ

สารบัญภาพ ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ 1

ที่มา และความสำคัญ 1

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 3

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

บทที่ 2 ตรวจสอบเอกสาร 4

ระบบ Biofloc 4

ปลานิลแดง 6

ดัชนีความสมบูรณ์เพศและความดกของไข่ในปลา 8

ระบบภูมิคุ้มกันปลา 9

โภชนาการจากเนื้อปลา 11

โลหะหนักในเนื้อปลา 14

คุณภาพน้ำที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงปลานิลทั่วไป 16

แพลงก์ตอน 24

ต้นทุนการผลิต (อนุรักษ์, 2558) 28

มาตรฐานการเลี้ยงสัตว์น้ำจืดอินทรีย์ 29

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 32
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย 35
การวางแผนการวิจัย 35
วางแผนการทดลอง และการเก็บรวบรวมข้อมูล 35
การทดลองที่ 1 การอนุบาลลูกปลานิลแดงในระบบที่แตกต่างกันเพื่อหาระบบที่เหมาะสมในการอนุบาลลูกปลานิลแดง 35
การทดลองที่ 2 การเลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบไบโอฟลอค กับระบบปิดแบบทั่วไปในบ่อซีเมนต์ 39
ขอบเขตของงานวิจัย 42
ระยะเวลาการทำวิจัย และสถานที่ดำเนินงาน 42
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการวิจัย 43
การทดลองที่ 1 การอนุบาลลูกปลานิลแดงในระบบที่แตกต่างกันเพื่อหาระบบที่เหมาะสมในการอนุบาลลูกปลานิลแดง 43
1. ปัจจัยการเจริญเติบโตของลูกปลานิลแดงในบ่ออนุบาลในระบบปิดแบบใช้หัวทราย กรองหิน และไบโอฟลอค 43
2. ปัจจัยคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีในบ่ออนุบาลในระบบปิดแบบใช้หัวทราย กรองหิน และไบโอฟลอค 47
การทดลองที่ 2 การเลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบไบโอฟลอค กับระบบปิดแบบทั่วไปในบ่อซีเมนต์ 53
1. ปัจจัยการเจริญเติบโตของปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคและระบบปิดแบบทั่วไป 53
2. ดัชนีความสมบูรณ์เพศและความดกของไข่ปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคและระบบปิดแบบทั่วไป 58
3. ภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะ (lysozyme activity assay) ของปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคและระบบปิดแบบทั่วไป 60

4. คุณค่าทางโภชนาการในเนื้อปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคและระบบปิดแบบทั่วไป 61
5. ปริมาณโลหะหนักในเนื้อของปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคและระบบปิดแบบทั่วไป 62
6. คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมี ในบ่อเลี้ยงปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคและระบบปิดแบบทั่วไป 63
7. ความหลากหลายของแพลงก์ตอนพืชและแพลงก์ตอนสัตว์ที่พบ ในบ่อเลี้ยงปลานิลแดงระบบปิดแบบไบโอฟลอคและระบบปิดแบบทั่วไป 68
8. ต้นทุนการผลิตและผลผลิต 79
วิจารณ์ผลการวิจัย 80
การทดลองที่ 1 การอนุบาลลูกปลานิลแดงในระบบที่แตกต่างกันเพื่อหาระบบที่เหมาะสมในการ อนุบาลลูกปลานิลแดง 80
การทดลองที่ 2 การเลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคกับระบบปิดแบบทั่วไปในบ่อซีเมนต์ 81
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ 85
ข้อเสนอแนะ 86
บรรณานุกรม 87
ภาคผนวก 92
ภาคผนวก ก วิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำ 93
ภาคผนวก ข วิธีวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการอาหาร 102
ภาคผนวก ค วิธีวิเคราะห์ Lysozyme activity assay 111
ภาคผนวก ง วิธีวิเคราะห์โลหะหนัก 114
ประวัติผู้วิจัย 118

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 คุณค่าทางโภชนาการอาหารที่ใช้ในการทดลอง.....40

ตารางที่ 2 ปัจจัยการเจริญเติบโตของลูกปลานิลแดงที่อนุบาลในระบบปิดแบบใช้หัวทราย กรองหิน และไบโอฟลอค ระยะเวลาอนุบาล 120 วัน.....47

ตารางที่ 3 ปัจจัยการเจริญเติบโตของปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอค และระบบปิดแบบทั่วไป ตลอดระยะเวลา 150 วัน.....57

ตารางที่ 4 ภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะ (lysozyme activity assay) ของปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคและระบบปิดแบบทั่วไป.....61

ตารางที่ 5 คุณค่าทางโภชนาการในเนื้อปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคและระบบปิดแบบทั่วไป.....62

ตารางที่ 6 ปริมาณโลหะหนัก (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ที่พบในเนื้อปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอค และระบบปิดแบบทั่วไป.....62

ตารางที่ 7 ต้นทุน (บาท/กิโลกรัม) และผลผลิต (กิโลกรัม/บ่อ) ของปลานิลที่เลี้ยงในระบบปิดแบบทั่วไปและในระบบปิดแบบไบโอฟลอค.....79

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 ระบบปิดแบบใช้หัวทราย 36

ภาพที่ 2 ระบบปิดแบบกรองหิน 36

ภาพที่ 3 ระบบปิดแบบไบโอฟลอค 37

ภาพที่ 4 น้ำหนักตัวเฉลี่ยของลูกปลานิลแดงที่อนุบาลในระบบปิดแบบใช้หัวทราย กรองหิน และไบโอฟลอค ระยะเวลาอนุบาล 120 วัน 44

ภาพที่ 5 น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของลูกปลานิลแดงที่อนุบาลในระบบปิดแบบใช้หัวทราย กรองหินและไบโอฟลอค ระยะเวลาอนุบาล 120 วัน 44

ภาพที่ 6 อัตราการเจริญเติบโตต่อวันของลูกปลานิลแดงที่อนุบาลในระบบปิดแบบใช้หัวทราย กรองหินและไบโอฟลอค ระยะเวลาอนุบาล 120 วัน 45

ภาพที่ 7 อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของลูกปลานิลแดงที่อนุบาลในระบบปิดแบบใช้หัวทราย กรองหินและไบโอฟลอค ระยะเวลาอนุบาล 120 วัน 45

ภาพที่ 8 อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของลูกปลานิลแดงที่อนุบาลในระบบปิดแบบใช้หัวทราย กรองหินและไบโอฟลอค ระยะเวลาอนุบาล 120 วัน 46

ภาพที่ 9 อัตราการรอดตายของลูกปลานิลแดงที่อนุบาลในระบบปิดแบบใช้หัวทราย กรองหินและไบโอฟลอค ระยะเวลาอนุบาล 120 วัน 46

ภาพที่ 10 อุณหภูมิอากาศของบ่อที่อนุบาลลูกปลานิลแดงในระบบปิดแบบใช้หัวทราย กรองหิน และไบโอฟลอค ระยะเวลาอนุบาล 120 วัน 49

ภาพที่ 11 อุณหภูมิน้ำของบ่อที่อนุบาลลูกปลานิลแดงในระบบปิดแบบใช้หัวทราย กรองหิน และไบโอฟลอค ระยะเวลาอนุบาล 120 วัน 49

ภาพที่ 12 ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของบ่อที่อนุบาลลูกปลานิลแดงในระบบปิดแบบใช้หัวทราย กรองหินและไบโอฟลอค ระยะเวลาอนุบาล 120 วัน 50

ภาพที่ 13 ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ของบ่อที่อนุบาลลูกปลานิลแดงในระบบปิดแบบใช้หัวทราย กรองหิน และไบโอฟลอค ระยะเวลาอนุบาล 120 วัน 50

ภาพที่ 14 ค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ของบ่อที่อนุบาลลูกปลานิลแดงในระบบปิดแบบใช้หัวทราย กรองหินและไบโอฟลอค ระยะเวลาอนุบาล 120 วัน.....51

ภาพที่ 15 ค่าไนไตรท์-ไนโตรเจน ของบ่อที่อนุบาลลูกปลานิลแดงในระบบปิดแบบใช้หัวทราย กรองหินและไบโอฟลอค ระยะเวลาอนุบาล 120 วัน.....51

ภาพที่ 16 ค่าไนเตรท-ไนโตรเจน ของบ่อที่อนุบาลลูกปลานิลแดงในระบบปิดแบบใช้หัวทราย กรองหินและไบโอฟลอค ระยะเวลาอนุบาล 120 วัน.....52

ภาพที่ 17 ค่าออร์โธฟอสเฟส-ฟอสฟอรัส ของบ่อที่อนุบาลลูกปลานิลแดงในระบบปิดแบบใช้หัวทราย กรองหิน และไบโอฟลอค ระยะเวลาอนุบาล 120 วัน.....52

ภาพที่ 18 น้ำหนักเฉลี่ยของปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอค และระบบปิดแบบทั่วไป ตลอดระยะเวลา 150 วัน.....54

ภาพที่ 19 น้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นของปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคและระบบปิดแบบทั่วไป ตลอดระยะเวลา 150 วัน.....55

ภาพที่ 20 อัตราการเจริญเติบโตต่อวันของปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคและระบบปิดแบบทั่วไป ตลอดระยะเวลา 150 วัน.....55

ภาพที่ 21 อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคและระบบปิดแบบทั่วไป ตลอดระยะเวลา 150 วัน.....56

ภาพที่ 22 อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคและระบบปิดแบบทั่วไป ตลอดระยะเวลา 150 วัน.....56

ภาพที่ 23 อัตราการรอดตายของปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคและระบบปิดแบบทั่วไป ตลอดระยะเวลา 150 วัน.....57

ภาพที่ 24 ดัชนีความสมบูรณ์เพศของไข่ปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคและระบบปิดแบบทั่วไป.....59

ภาพที่ 25 ปริมาณความดกของไข่ปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคและระบบปิด แบบทั่วไป.....59

ภาพที่ 26 ภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะ (lysozyme activity assay) ของปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคและระบบปิดแบบทั่วไป.....60

ภาพที่ 27 อุณหภูมิอากาศของบ่อที่เลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบไบโอฟลอค และระบบปิดแบบทั่วไป ระยะเวลา 150 วัน 64

ภาพที่ 28 อุณหภูมิน้ำของบ่อที่เลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบไบโอฟลอค และระบบปิดแบบทั่วไป ระยะเวลา 150 วัน 64

ภาพที่ 29 ค่าความเป็นกรด-ด่างของบ่อที่เลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบไบโอฟลอค และระบบปิดแบบทั่วไป ระยะเวลา 150 วัน 65

ภาพที่ 30 ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำของบ่อที่เลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบไบโอฟลอค และระบบปิดแบบทั่วไป ระยะเวลา 150 วัน 65

ภาพที่ 31 ค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจนของบ่อที่เลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบไบโอฟลอค และระบบปิดแบบทั่วไป ระยะเวลา 150 วัน 66

ภาพที่ 32 ค่าไนไตรท์-ไนโตรเจนของบ่อที่เลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบไบโอฟลอค และระบบปิดแบบทั่วไป ระยะเวลา 150 วัน 66

ภาพที่ 33 ค่าไนเตรท-ไนโตรเจนของบ่อที่เลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบไบโอฟลอค และระบบปิดแบบทั่วไป ระยะเวลา 150 วัน 67

ภาพที่ 34 ค่าออร์โธฟอสเฟส-ฟอสฟอรัสของบ่อที่เลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบไบโอฟลอค และระบบปิดแบบทั่วไป ระยะเวลา 150 วัน 67

ภาพที่ 35 ความหลากหลายของแพลงก์ตอนพืชในบ่อเลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบแบบทั่วไปให้อาหารสูตรปลอดภัย 3 เปอร์เซ็นต์ 68

ภาพที่ 36 ความหลากหลายของแพลงก์ตอนสัตว์ในบ่อเลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบทั่วไปให้อาหารสูตรปลอดภัย 3 เปอร์เซ็นต์ 69

ภาพที่ 37 ความหลากหลายของแพลงก์ตอนพืชในบ่อเลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคให้อาหารสูตรปลอดภัย 1.5 เปอร์เซ็นต์ 70

ภาพที่ 38 ความหลากหลายของแพลงก์ตอนสัตว์ในบ่อเลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคให้อาหารสูตรปลอดภัย 1.5 เปอร์เซ็นต์ 70

ภาพที่ 39 ความหลากหลายของแพลงก์ตอนพืชในบ่อเลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคให้อาหารสูตรปลอดภัย 3 เปอร์เซ็นต์ 71

ภาพที่ 40 ความหลากหลายของแพลงก์ตอนสัตว์ในบ่อเลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบไบโอฟลอค ให้อาหารสูตรปลอดภัย 3 เปอร์เซ็นต์ 72

ภาพที่ 41 ความหลากหลายของแพลงก์ตอนพืชในบ่อเลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบไบโอฟลอค ให้อาหารสูตรปลอดภัย 4.5 เปอร์เซ็นต์ 73

ภาพที่ 42 ความหลากหลายของแพลงก์ตอนสัตว์ในบ่อเลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบไบโอฟลอค ให้อาหารสูตรปลอดภัย 4.5 เปอร์เซ็นต์ 73

ภาพที่ 43 มวลชีวภาพของแพลงก์ตอนพืชและสัตว์ในบ่อที่เลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคและระบบปิดแบบทั่วไป 74

ภาพที่ 44 แพลงก์ตอนพืชใน ดิวิชั่น Cyanophyta a: Spirulina arthrospira b: Oscillatoria sp. C: Raphidiopsis sp. 75

ภาพที่ 45 แพลงก์ตอนพืชใน ดิวิชั่น Chlorophyta a: Scenedesmus acuminatus b: Scenedesmus opoliensis c: Scenedesmus perforates 75

ภาพที่ 46 แพลงก์ตอนพืชใน ดิวิชั่น *Bacillariophyta* a: *Cyclotella* sp. b: *Synedra* sp. c: *Nitzschia palea* 76

ภาพที่ 47 แพลงก์ตอนพืชใน ดิวิชั่น Euglenophyta a: Peranema sp. b: Trachelomonas sp. 76

ภาพที่ 48 แพลงก์ตอนพืชใน ดิวิชั่น Pyrrhophyt a: Peridiniumum sp. b: Gymnodinium sp. 77

ภาพที่ 49 แพลงก์ตอนสัตว์ใน ดิวิชั่น Rotifera a: Brachionus rubens b: Brachionus sp. c: Trichocerca sp. 77

ภาพที่ 50 แพลงก์ตอนสัตว์ใน ดิวิชั่น Arthropoda a: Cladocerra sp. b: Copepoda sp. 78

ภาพที่ 51 แพลงก์ตอนสัตว์ใน ดิวิชั่น Protozoa a: Coleps sp. b: Vorticella sp. 78

บทที่ 1
บทนำ

ที่มา และความสำคัญ

ปลานิลแดง หรือ Red tilapia (*Oreochromis niloticus x O. mossambicus*) เป็นปลาลูกผสมระหว่างปลานิลกับปลาหมอเทศ คือมีปากเฉียงขึ้นคล้ายปลาหมอเทศและลักษณะลำตัวคล้ายปลานิล (นวลมณี, 2553) ปลานิลแดงเป็นปลาเศรษฐกิจที่เกษตรกรนิยมเลี้ยงมากทั้งในน้ำจืดและน้ำกร่อย เนื่องจากถือเป็นแหล่งโปรตีนจากปลาที่ราคาไม่แพง และสามารถจำหน่ายภายในประเทศอย่างแพร่หลาย (เบทาโกร, 2557) ปัจจุบันเกษตรกรนิยมอนุบาลและเลี้ยงปลานิลแดงในกระชัง มีการเลี้ยงที่ระดับความหนาแน่นสูงเพื่อที่ให้ได้ผลผลิตที่มากขึ้น ในขั้นตอนการอนุบาลลูกปลานิลเป็นวิธีการที่สามารถช่วยให้อัตรารอดของปลาสูงขึ้นและเร่งการเจริญเติบโตได้เป็นอย่างดี ดังนั้นการจัดการระบบอนุบาลจึงมีความสำคัญอย่างมากในการอนุบาลลูกปลา (สำนักวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด, 2554) แต่การอนุบาลและการเลี้ยงปลานิลแดงในกระชังนั้นมักจะประสบปัญหาเรื่องของคุณภาพน้ำ โดยเฉพาะแอมโมเนียที่มักเกิดจากการให้อาหารในปริมาณที่มากเกินไป หรือจากการขับถ่ายของปลา (กรมประมง, 2556) จึงได้มีการแก้ปัญหาด้วยการนำแนวคิดที่จะบำบัดไนโตรเจนมาปรับใช้ภายในบ่อเลี้ยงปลาระบบปิด โดยการใช้เทคโนโลยีไบโอฟลอค (อนุสรา, 2559)

การเลี้ยงปลาระบบปิดจะสามารถเพิ่มผลผลิต ป้องกันการติดโรค ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและควบคุมคุณภาพน้ำได้ แต่การเลี้ยงปลาระบบปิดแบบทั่วไปก็ยังมีข้อเสีย คือปริมาณแอมโมเนียสะสมในระดับความเข้มข้นสูง โดยสาเหตุเกิดจากการให้อาหารในปริมาณมาก การขับถ่ายของเสียของปลาและการย่อยสลายของโปรตีนในอาหารที่เหลือจากแบคทีเรียภายในบ่อเลี้ยง ซึ่งของเสียเหล่านี้เมื่อสะสมอยู่จนถึงระดับหนึ่งจะเกิดความเป็นพิษต่อปลา (ชลฤทัย และคณะ, 2554) จากการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลานิลด้วยระบบถังกรองทรายแบบไหลไม่ต่อเนื่อง พบว่าการกำจัดแพลงก์ตอนออกจากน้ำหมุนเวียนของบ่อในอัตรา 5, 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ช่วยลดการสะสมของสารอินทรีย์และของเสียต่าง ๆ รวมทั้งสารที่เป็นพิษต่อปลานิล แต่ทั้งนี้ในระบบถังกรองทรายมีการกำจัดแพลงก์ตอนออกจากระบบ ซึ่งปลานิลเป็นปลาที่กินอาหารธรรมชาติรวมถึงแพลงก์ตอนด้วย ดังนั้นการพัฒนาระบบปิด ให้สามารถผลิตอาหารธรรมชาติในบ่อเลี้ยงและช่วยกำจัดของเสียในบ่อจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก (มลวิภา, 2540)

เทคโนโลยีไบโอฟลอค (Biofloc technology) คือการใช้ตะกอนจุลินทรีย์ (Biofloc) จำพวกเฮทเทอโรโทรฟิค (Heterotrophic bacteria) ที่มารวมตัวกันเป็นตะกอนแขวนลอย ขนาดของกลุ่ม

ฟลอคอยู่ที่ 0.2-2.0 มิลลิเมตร ทำหน้าที่ในการย่อยสลายซากของเสีย (แอมโมเนีย) เปลี่ยนของเสียที่เหลือจากการบริโภคของสัตว์น้ำและจากการขับถ่ายของสัตว์น้ำให้กลายเป็นสิ่งดีเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ ซึ่งแอมโมเนียถูกเปลี่ยนไปเป็นมวลชีวภาพ กลายเป็นแหล่งโปรตีนให้แก่สัตว์น้ำ (อนุสรา, 2559) ระบบไบโอฟลอค (Biofloc system) เป็นระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำระบบปิดที่กำลังได้รับความนิยมมากขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจากมีข้อดีหลายประการ เช่น สัตว์น้ำสามารถเจริญเติบโตได้ดี ประหยัดต้นทุนอาหาร ทำให้คุณภาพน้ำดีขึ้น ช่วยรักษาสิ่งแวดล้อมทางน้ำ เป็นต้น อีกทั้งยังช่วยลดปัญหามลพิษจากการเปลี่ยนถ่ายน้ำออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติได้ (สมาคมนิสิตเก่าคณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2559) จากผลการศึกษาของอนุสรา (2559) เกี่ยวกับไบโอฟลอคกับคุณภาพน้ำและการเจริญเติบโตของปลานิล (Nile tilapia) ภายในถัง พบว่าปลาในถังที่มีการเติมไบโอฟลอคจะมีอัตราการรอดตาย 100 เปอร์เซ็นต์และมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น 45 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับปลานิลในถังที่ไม่มีการเติมไบโอฟลอค นอกจากนั้นยังพบว่าคุณภาพน้ำในถังที่มีการเติมไบโอฟลอคมีปริมาณแอมโมเนียต่ำกว่าถังที่ไม่มีการเติมไบโอฟลอค ซึ่งเป็นการยืนยันได้ว่าปลาสามารถใช้ไบโอฟลอคเพื่อการเจริญเติบโตได้

การเลี้ยงสัตว์น้ำปลอดภัยมุ่งสู่ระบบอินทรีย์เป็นการเลี้ยงที่ใช้หลักการจัดการผลิตแบบองค์รวมเกื้อหนุนต่อระบบนิเวศ รักษาความหลากหลายและวงจรทางชีวภาพโดยเน้นการใช้วัสดุธรรมชาติ หลีกเลี่ยงการใช้วัตถุดิบจากการสังเคราะห์ ไม่ใช้พืช สัตว์หรือจุลินทรีย์ที่ได้จากเทคนิคการดัดแปรงพันธุกรรมหรือพันธุวิศวกรรม มีการจัดการกับผลผลิตด้วยความระมัดระวังเพื่อรักษาสภาพการเป็นสินค้าเกษตรอินทรีย์และคุณภาพที่สำคัญของผลผลิตทุกขั้นตอนการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอินทรีย์ คือกระบวนการผลิตสัตว์น้ำ เพื่อให้ได้ผลิตผลหรือผลิตภัณฑ์ที่เป็นไปตามหลักการและมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ ด้านการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอินทรีย์ เป็นการรวมกระบวนการทุกขั้นตอน เช่น การจัดการระบบนิเวศ การใช้ปัจจัยการผลิต การเพาะพันธุ์ การเลี้ยง อาหารสัตว์ สุขภาพสัตว์ สวัสดิภาพสัตว์ การทำให้ตาย การแปรรูป การขนส่ง ความเป็นธรรมในสังคม เป็นต้น วัตถุประสงค์ ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอินทรีย์เพื่อที่จะให้ได้ผลิตผลหรือผลิตภัณฑ์จากกระบวนการที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมปลอดภัยต่อผู้ผลิตและผู้บริโภค โดยมีหลักการการผลิตแบบเกษตรผสมผสาน รักษาความหลากหลายทางชีวภาพ หมุนเวียนการใช้ทรัพยากรภายในฟาร์มให้เกิดประโยชน์สูงสุด (กรมประมง, 2551)

ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนาระบบการเลี้ยงปลานิลแดงที่สามารถให้ผลผลิตสูงและมีประสิทธิภาพ สามารถเลี้ยงในระดับความหนาแน่นสูง ลดปัญหาคุณภาพน้ำเสียในบ่อ เพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการของผู้บริโภค ดังนั้น จึงได้มีความสนใจในการศึกษาการเลี้ยงปลานิลแดงในระบบไบโอฟลอคโดยเปรียบเทียบกับระบบปิดทั่วไปเพราะในระบบไบโอฟลอคสามารถเลี้ยงปลาในอัตราที่หนาแน่นสูงได้ อีกทั้งยังมีกลุ่มสิ่งมีชีวิตเล็ก ๆ ที่สามารถใช้เป็นแหล่งอาหารธรรมชาติในบ่อเลี้ยง

ซึ่งช่วยลดต้นทุนค่าอาหารระหว่างการเลี้ยง เพื่อทำให้เกิดการเลี้ยงสัตว์น้ำที่ปลอดภัยนำไปสู่การพัฒนาการผลิตสัตว์น้ำอินทรีย์ต่อไปในอนาคต

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโต ดัชนีความสมบูรณ์เพศ และความดกของไข่ปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอค และระบบปิดแบบทั่วไป
2. เพื่อเปรียบเทียบระบบภูมิคุ้มกัน คุณค่าทางโภชนาการ และปริมาณโลหะหนักในเนื้อปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอค และระบบปิดแบบทั่วไป
3. เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพน้ำ และความหลากหลายของแพลงก์ตอนในบ่อที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอค และระบบปิดแบบทั่วไป
4. เพื่อเปรียบเทียบต้นทุนค่าอาหารระหว่างการเลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอค และระบบปิดแบบทั่วไป

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถนำผลที่ได้จากการวิจัยไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาการผลิตสัตว์น้ำที่ปลอดภัยเพื่อมุ่งสู่สัตว์น้ำอินทรีย์
2. สามารถเผยแพร่สู่เกษตรกรเพื่อการนำไปใช้ในการผลิตสัตว์น้ำปลอดภัยได้
3. เป็นฐานข้อมูลพื้นฐานในการวิจัยครั้งต่อไป

บทที่ 2
ตรวจสอบเอกสาร

ระบบ Biofloc

Biofloc technology หรือ BFT คือการนำตะกอนจุลินทรีย์ (Biofloc) มาช่วยในการกำจัดของเสียที่เหลือจากการบริโภคสัตว์น้ำ และจากการขับถ่าย ให้กลายเป็นสิ่งดีที่มีประโยชน์ต่อสัตว์น้ำ ตะกอนจุลินทรีย์ คือตะกอนอินทรีย์แขวนลอยในมวลน้ำ ยึดเกาะเป็นกลุ่มกับพวกสาหร่ายและแพลงก์ตอนพืช โปรโตซัวและแบคทีเรีย โดยกลุ่มแบคทีเรียจะเป็นพวกเฮทเทอโรโทรฟิคแบคทีเรีย (Heterotrophic bacteria) ขนาดของกลุ่มฟลอคอยู่ที่ 0.2 - 2.0 มิลลิเมตร กระบวนการเกิดไบโอฟลอคสามารถเกิดได้เองตามธรรมชาติ แต่มีเงื่อนไขว่าแหล่งน้ำหรือบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำจะต้องมีการเคลื่อนไหวของมวลน้ำอยู่ตลอดเวลา เพราะไม่เช่นนั้นกลุ่มฟลอคก็จะตกตะกอนที่พื้นก้นบ่อและกลายเป็นของเสียเช่น เดิมไบโอฟลอคจะเกิดได้ดีเมื่อในแหล่งน้ำมีสัดส่วนระหว่างคาร์บอนกับไนโตรเจน (C:N ratio) ที่เหมาะสม โดยแหล่งที่มาของคาร์บอน ได้แก่ แป้ง (Starch) น้ำตาล (Sugar) เซลลูโลส (Cellulose) และพวกกากใย (Fiber) ส่วนแหล่งที่มาของไนโตรเจน ได้แก่ กรดอะมิโน (Amino acid) โปรตีน (Protein) (อนุสรา, 2559)

การควบคุมคุณภาพน้ำของไบโอฟลอค การจัดการคุณภาพน้ำระหว่างการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำถือเป็นหัวใจสำคัญที่จะทำนายความสำเร็จในอนาคตของผู้เลี้ยงได้ว่า ผลผลิตที่ได้จะเป็นบวกหรือลบ

แอมโมเนียถือเป็นหนึ่งพารามิเตอร์ที่จะต้องจัดการให้มีความเป็นพิษต่ำ ซึ่งกระบวนการที่จะช่วยควบคุมแอมโมเนียระหว่างการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีอยู่ 3 กระบวนการ

1. การดูดซับโดยใช้สาหร่าย (Algae uptake)

โดยทั่ว ๆ ไปการเจริญเติบโตของพวกสาหร่ายจะใช้แร่ธาตุไนโตรเจน (N) และฟอสฟอรัส (P) เป็นตัวหลัก ดังนั้น หากมีการใช้สาหร่ายเพิ่มเข้าไประหว่างที่มีการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เมื่อมีของเสียจำพวกแอมโมเนียเกิดขึ้น (NH_3) ซึ่งมีไนโตรเจนรวมอยู่ด้วย ตัวสาหร่ายก็จะดึงเอาไนโตรเจนมาใช้เพื่อการเจริญเติบโต ส่งผลให้ปริมาณแอมโมเนียลดลงไปด้วย

อย่างไรก็ตาม การใช้สาหร่ายเพื่อควบคุม แอมโมเนียก็ยังมีข้อจำกัดในเรื่องของแสง (Sunlight) เพราะแสงถือเป็นปัจจัยสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช (Photosynthesis) จึงกล่าวได้ว่า แม้สาหร่ายจะดึงไนโตรเจน (N) จากแอมโมเนียเพื่อการเจริญเติบโตได้ แต่ถ้าขาดแสงการเจริญเติบโตก็จะเกิดได้ไม่ดีและการบำบัดแอมโมเนียก็จะเกิดขึ้นได้ไม่สมบูรณ์

2. กระบวนการไนตริฟิเคชั่น (Nitrification)

เป็นปฏิกิริยาออกซิเดชั่น (Oxidation) ที่เกิดขึ้น 2 ขั้นตอน ในการเปลี่ยนรูปแอมโมเนีย (NH_3) เป็นไนไตรท์ (NO_2^-) และจากไนไตรท์ (NO_2^-) เป็นไนเตรท (NO_3^-)

กระบวนการไนตริฟิเคชั่นอาศัยการทำงานของแบคทีเรียกลุ่มไนตริฟายอิงแบคทีเรีย (Nitrifying bacteria) คือ ไนโตรโซโมแนส (*Nitrosomonas* sp.) เปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไนไตรท์และไนโตรแบคเตอร์ (*Nitrobacter* sp.) เปลี่ยนจากไนไตรท์เป็นไนเตรท ไนตริฟายอิงแบคทีเรียจะเป็นแบคทีเรียกลุ่มที่ใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งพลังงานในการเปลี่ยน รูปแอมโมเนียที่เป็นพิษ (Toxic) รุนแรงต่อสัตว์น้ำให้เป็นไนเตรทที่มีระดับความเป็นพิษต่ำนั่นเอง

แต่เนื่องจากการทำงานของพวกไนตริฟายอิงแบคทีเรียนั้นจะอาศัยคาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งพลังงานเช่นเดียวกับเฮทเทอโรโทรฟิคแบคทีเรีย ดังนั้น คาร์บอนในสารประกอบอินทรีย์จึงสามารถไปกระตุ้นการเจริญเติบโตของเฮทเทอโรโทรฟิคแบคทีเรียได้ด้วย แต่จะแตกต่างกันตรงที่พวกเฮทเทอโรโทรฟิค จะมีความสามารถในการจับออกซิเจนได้ดีกว่าพวกไนตริฟายอิงแบคทีเรีย จึงทำให้กระบวนการไนตริฟิเคชั่นซึ่งจะเกิดได้ดีในภาวะที่มีออกซิเจนเพียงพอก็จะเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ ผลที่ตามมาก็คือประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียก็จะลดลงด้วยเช่นกัน

3. กระบวนการบำบัดแอมโมเนียโดยใช้ไบโอฟลอค

ไบโอฟลอคจัดเป็นแบคที่เรียกลุ่มเฮทเทอโรโทรฟิค ซึ่งใช้คาร์บอนเป็นแหล่งพลังงานและมีการดึงไนโตรเจนมาใช้เพื่อสร้างเซลล์ใหม่เพื่อการเจริญเติบโต เมื่อมีการดึงไนโตรเจนออกไปมากปริมาณของแอมโมเนียก็จะลดลงตามลำดับ จำนวนเซลล์ใหม่ที่ถูกสร้างขึ้นเมื่อมีการรวมตัวกันจึงเรียกกันว่าไบโอฟลอคหรือตะกอนจุลินทรีย์นั่นเอง ประสิทธิภาพของการบำบัดแอมโมเนียโดยไบโอฟลอคจะให้ความสำคัญกับสัดส่วนระหว่างคาร์บอนกับไนโตรเจน (C:N ratio) เป็นหลัก ซึ่งค่าที่เหมาะสมอยู่ที่ 20 หมายความว่า จะต้องใช้คาร์โบไฮเดรต 20 กรัม ต่อไนโตรเจน 1 กรัม จึงจะสามารถกำจัดสารประกอบไนโตรเจนออกไปได้นั่นเอง (อนุสรา, 2559)

ข้อดีและข้อจำกัดของการปิดระบบในบ่อเลี้ยง

1. ข้อดี
   1.1 ประหยัดน้ำ และค่าสูบน้ำ
   1.2 รักษาคุณค่าทางอาหาร และตะกอนต่างๆที่เหลือ
   1.3 ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
   1.4 เป็นวิธีป้องกันทางชีวภาพที่ดีที่สุด ในการลดการก่อให้เกิดโรค
2. ผลกระทบ
   2.1 มีการสะสมของสารอาหารมากจนเกินไป สาหร่ายตาย มีแบคทีเรีย

2.2 มีปริมาณความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูง มีอาหารเหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของแบคทีเรียจำนวนมาก

2.3 การหายใจของแบคทีเรียสูงทำให้ปริมาณออกซิเจนต่ำลง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการให้อากาศ (ปริมาณการถ่ายน้ำไม่ได้มีส่วนในการเพิ่มออกซิเจนมากนัก ซึ่งความเข้มข้นของแอมโมเนียเพิ่มขึ้นในน้ำที่ถูกขับถ่ายโดยปลา และการย่อยของสารอินทรีย์ (Avnimelech, 2015.)

เทคโนโลยีไบโอฟลอคกับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วนั่นเป็นเพราะคนทั่วโลกหันมาให้ความสนใจและบริโภคอาหารประเภทสัตว์น้ำกันมากขึ้น และเพื่อให้สัตว์น้ำมีจำนวนเพียงพอต่อความต้องการของผู้บริโภคตลอดจนการพัฒนารูปแบบการเลี้ยงที่ให้ผลคุ้มค่าต่อการลงทุน การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจึงต้องเลี้ยงในระดับความหนาแน่นที่สูงขึ้นแต่ผลที่ตามมาคือการทิ้งของเสียลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติกลับมีมากขึ้นด้วยจนเกิดเป็นมลภาวะสิ่งแวดล้อม อีกทั้งอาหารที่ได้จากธรรมชาติสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำก็มีจำนวนจำกัด

การใช้ไบโอฟลอคมาเป็นตัวช่วยบำบัดไนโตรเจนจึงได้เกิดขึ้นภายใต้เงื่อนไขที่ว่าการที่จะให้ตัวไบโอฟลอคทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพภายในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำจะต้องมีการผสมและหมุนเวียนของน้ำภายในบ่อเป็นอย่างดี ยิ่งกว่านั้นจะต้องทำการเติมก๊าซออกซิเจนให้มากพอ ๆ กับการควบคุมสัดส่วนของคาร์บอนกับไนโตรเจนให้เหมาะสม เพื่อช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตของแบคทีเรียกลุ่มเฮทเทโรโทรฟิคให้มีปริมาณเพียงพอภายในบ่อเลี้ยงนั่นเอง และรวมกลุ่มกันกลายเป็นกลุ่มไบโอฟลอคในที่สุด (กษิดิส, 2551)

ปลานิลแดง

ชีววิทยาของปลานิลแดง

ปลานิลแดงมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Oreochromis niloticus × O. mossambicus* มีริมฝีปากบนและล่างเสมอกัน บริเวณแก้มมีเกล็ด 4 แถว ลำตัวมีสีเขียวปนน้ำตาล และมีลาดพาดขวาง 9–10 แถบ ครีบหลัง ครีบก้นและครีบหางมีจุดขาว เส้นสีดำตัดขวาง ครีบหลังมีอันเดียวประกอบด้วยก้านครีบแข็ง 15–18 อัน และก้านครีบอ่อน 12–14 อัน ครีบก้นมีก้านครีบแข็ง 3 อัน และก้านครีบอ่อน 12–14 อัน บนแถบเส้นข้างลำตัวมีเกล็ด 33 เกล็ด และจากเส้นข้างลำตัวลงมาถึงแนวส่วนหน้าของครีบก้น 13 เกล็ด ลำตัวมีสีเขียวปนน้ำตาล ตรงกลางเกล็ดมีสีเข้ม ที่กระดูกแก้มมีจุดสีเข้มอยู่ 1 จุด ปลานิลมีนิสัยชอบอยู่รวมกันเป็นฝูง มีความอดทนและปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ได้ดี มีอุปนิสัยกินอาหารได้ทั้งพืชและสัตว์ สามารถกินแพลงก์ตอนพืช แพลงก์ตอนสัตว์ ซากอินทรีย์และอนินทรีย์ที่เน่าเปื่อยรวมทั้งจุลินทรีย์และพืชน้ำต่าง ๆ กินอาหารในเวลากลางวันและหยุดกินอาหารใน

เวลากลางคืน กินอาหารได้ทั้งที่ ผิวน้ำ กลางน้ำและก้นบ่อ (กองวิจัยและพัฒนาพันธุกรรมสัตว์น้ำ, 2560)

ระบบการเลี้ยงปลานิลในประเทศไทย (กรมประมง, 2556)

การเลี้ยงปลานิลจึงมีความจำเป็นในด้านการจัดการฟาร์มให้มีความเหมาะสม ดังนั้น การเลี้ยงที่จะให้ได้ผลดีเป็นที่พอใจจำเป็นต้องปฏิบัติให้ถูกต้องตามหลักวิชาการโดยมีประเภทของการเลี้ยง ดังต่อไปนี้

การเลี้ยงปลานิลตามลักษณะการให้อาหาร

1. การเลี้ยงปลานิลแบบธรรมชาติ หรือการเลี้ยงปลานิลแบบยังชีพ คือการเลี้ยงปลาโดยไม่ต้องให้อาหาร ปลาจะได้รับอาหารจากธรรมชาติเท่านั้น ฉะนั้นสภาพที่เลี้ยงจะต้องมีอาหารธรรมชาติอย่างสมบูรณ์ โดยมีทั้งพวกสัตว์น้ำและพืชน้ำที่ปลาใช้เป็นอาหารได้ การเลี้ยงแบบนี้ไม่สามารถควบคุมผลผลิตได้

2. การเลี้ยงแบบกึ่งพัฒนา หรือการเลี้ยงปลานิลแบบผสมผสาน คือการเลี้ยงปลาโดยเพิ่มปริมาณอาหารธรรมชาติควบคู่กับการให้อาหารสมทบ เช่น การเลี้ยงปลาสลิดโดยใช้ปุ๋ยคอก เป็นการเพิ่มอาหารธรรมชาติควบคู่กับการให้อาหารผสมวันละมื้อ โดยจะใส่ปุ๋ยคอกเดือนละครั้งตลอดระยะเวลาการเลี้ยง

3. การเลี้ยงปลาแบบพัฒนาหรือการเลี้ยงปลานิลเชิงพาณิชย์ คือการเลี้ยงปลาโดยให้อาหารสมทบเท่านั้นซึ่งปลาจะได้รับอาหารเพียงพอทั้งปริมาณและคุณค่าการเลี้ยงปลาแบบนี้สามารถควบคุมผลผลิตได้

การเลี้ยงปลานิลตามลักษณะสภาพที่เลี้ยง

การเลี้ยงปลานิลในบ่อดิน บ่อที่เลี้ยงปลานิลควรเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าเพื่อสะดวกในการจับ เนื้อที่ตั้งแต่ 200 ตารางเมตรขึ้นไป อาหารที่ให้ใช้เศษอาหารจากโรงครัว ปุ๋ยคอก อาหารสมทบอื่น ๆ ที่หาได้ง่าย เช่น แหนเป็ด สาหร่าย เศษพืชผักต่าง ๆ ปัจจุบันการเลี้ยงปลานิลในบ่อดินแบ่งได้ 4 ประเภท ตามลักษณะการเลี้ยง ดังนี้

1. การเลี้ยงปลาแบบเดี่ยว โดยปล่อยลูกปลาขนาดเท่ากันลงเลี้ยงพร้อมกันใช้เวลาเลี้ยง 6-12 เดือน แล้วทำการจับปลาในบ่อทั้งหมด

2. การเลี้ยงปลานิลหลายรุ่นในบ่อเดียวกัน โดยใช้อวนจับปลาใหญ่ คัดเฉพาะปลาขนาดที่ตลาดต้องการจำหน่ายและปล่อยให้ปลาขนาดเล็กเจริญเติบโตต่อไป

3. การเลี้ยงปลานิลร่วมกับปลาชนิดอื่น เช่น ปลาสวาย ปลาตะเพียน ปลาจีน ฯลฯ เพื่อใช้ประโยชน์จากอาหาร หรือเลี้ยงร่วมกับปลากินเนื้อ เพื่อกำจัดลูกปลาที่ไม่ต้องการ ขณะเดียวกันจะได้

ปลากินเนื้อเป็นผลพลอยได้ เช่น การเลี้ยงปลานิลร่วมกับปลากรายและการเลี้ยงปลานิลร่วมกับ ปลาช่อน เป็นต้น

4. การเลี้ยงปลานิลแบบแยกเพศ โดยวิธีแยกเพศปลาหรือเปลี่ยนเป็นเพศเดียวกัน เพื่อป้องกันการแพร่พันธุ์ในบ่อ ส่วนมากนิยมเลี้ยงเฉพาะปลาเพศผู้ซึ่งมีการเจริญเติบโตเร็วกว่าปลาเพศเมีย

ดัชนีความสมบูรณ์เพศและความดกของไข่ในปลา

ฤดูกาลในการสืบพันธุ์ของปลา มีความแตกต่างไปตามชนิดของปลา เช่น ปลาบางชนิดผสมพันธุ์วางไข่ตลอดปี (Year round spawner) เช่น ปลานิล ซึ่งจะมีการพัฒนาในการสร้างไข่ในรังไข่อย่างต่อเนื่องทันทีหลังจากวางไข่ โดยอุณหภูมิและอาหารมีผลต่อการสร้างไข่โดยตรงและการพัฒนาของรังไข่หรืออัณฑะ (Gonad) อาจจะอยู่ในรูประยะฟัก (Dormant) จนกระทั้งสภาพแวดล้อมเหมาะสมจึงผสมพันธุ์วางไข่ทันที โดยทั่วไปปลากินเนื้อ (Carnivore) หลายชนิดจะผสมพันธุ์วางไข่ก่อนปลากินพืช (Herbivore) หรือปลากินพืชและเนื้อ (Omnivore) ทำให้ปลากินเนื้อสามารถหาอาหารกินได้ตลอดเวลาและมีมากพอ ซึ่งจัดเป็นการควบคุมสภาพสมดุลโดยธรรมชาติ ฤดูกาลการสืบพันธุ์ ของปลาแบ่งได้ 2 เขต

1. ฤดูกาลในการสืบพันธุ์ปลาเขตหนาว เช่น Temperate zone จะมี 4 ฤดูกาล ได้แก่ ฤดูร้อน ฤดูใบไม้ร่วง ฤดูหนาว และฤดูใบไม้ผลิ พบว่า ปลาส่วนใหญ่ผสมพันธุ์วางไข่ในฤดูใบไม้ผลิ เนื่องจากเป็นช่วงที่อุณหภูมิสูงขึ้นทำให้กระตุ้นการผสมพันธุ์วางไข่ของปลา เช่น ปลาเทร้า ปลาแซลมอน ปลาไพค์ ปลาเพิช เป็นต้น ปลาที่อยู่ในเขตนี้จะเจริญเติบโตช้ามากและสมบูรณ์เพศช้า เช่น ปลาไน แต่อย่างไรก็ตาม ถ้าทำการกระตุ้นแม่ปลาเหล่านี้ในฤดูใบไม้ร่วงด้วยการฉีดฮอร์โมนกระตุ้น (Exogenous hormone) จากต่อมใต้สมองก็ทำให้แม่ปลาตกไข่และวางไข่ได้ในยุโรปตอนกลางพบว่า ในรอบปีหนึ่งจะมี 100-120 วันที่อุณหภูมิเฉลี่ยในแต่ละวันมีค่า 20 องศาเซลเซียส ซึ่งมากว่าอุณหภูมิต่ำสุดที่ทำให้ปลาไนพัฒนาสร้างไข่ (15 องศาเซลเซียส) ฉะนั้นระยะเวลาที่กระตุ้นให้ปลาในสร้างไข่ (Active cogenesis) ในปีหนึ่งมีค่าประมาณ 100 x 20 = 2,000 ต่อวัน

2. ฤดูกาลในการสืบพันธุ์ปลาเขตร้อน (Tropical และ Subtropical) โดยทั่วไปจะมี 3 ฤดูกาล ได้แก่ ฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาว โดยปลาส่วนใหญ่จะผสมพันธุ์วางไข่ในช่วงฤดูฝน เนื่องจากแหล่งน้ำในธรรมชาติถูกปริมาณน้ำฝนกระตุ้นให้มีการเปลี่ยนแปลงทางด้านนิเวศวิทยา (Hydro-ecological changes) เช่น อุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ความขุ่น น้ำท่วม เป็นต้น สิ่งเหล่านี้จะสามารถกระตุ้นการผสมพันธุ์วางไข่ได้เป็นอย่างดี ปลาในเขตนี้จะเติบโตเร็วและสมบูรณ์เพศเร็วมาก ดังเช่น ในประเทศไทยพบว่า ปลาที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ เช่น ปลาไน ปลา

เฉา ปลาซ่ง ปลาเส่ง ปลาตะเพียนขาว ปลายี่สก ปลานิล ปลาดุก ปลาสวาย และปลาบู่ เป็นต้น จะผสมพันธุ์วางไข่ในฤดูฝนทั้งสิ้น แต่อาจแตกต่างกันเล็กน้อย เช่น ปลาตะเพียนขาวจะวางไข่มากในช่วงต้นฤดูฝน ส่วนปลาดุกอุยและดุกด้านจะวางไข่มากช่วงเดือนมิถุนายน และปลาเฉาจะวางไข่มากในช่วงเดือนกันยายน อย่างไรก็ตาม เมื่อปลาอยู่ในฤดูผสมพันธุ์วางไข่ไม่ว่าจะเป็นปลาในเขตหนาวหรือเขตร้อนก็ตามจะมีค่าโกนาโดโซมาติดอินเด็กซ์ (Gonadosomatic index, GSI) สูงสุด เพราะรังไข่และอัณฑะมีการพัฒนาพร้อมเต็มที่และมีขนาดขยายใหญ่ขึ้นมาก การใช้ค่าดังกล่าวประเมินฤดูผสมพันธุ์การวางไข่ของปลา จำเป็นต้องใช้ประสบการณ์มาก อย่างไรก็ตาม การประเมินลักษณะของรังไข่และอัณฑะด้วยสายตาก็สามารถประเมินถึงฤดูผสมพันธุ์วางไข่ของปลาได้ แม้จะไม่แม่นยำมากเมื่อเปรียบเทียบกับดูกายวิภาคของไข่โดยตรง (นพดล, 2560)

การประเมินค่าดัชนีความสมบูรณ์เพศในปลา มีความสำคัญในการเพาะผสมเทียมสัตว์น้ำมาก เนื่องจากจะทำให้เราสามารถรู้ได้ว่าพ่อ-แม่ปลา ที่เจริญพันธุ์แต่ละชนิดจะมีช่วงฤดูผสมพันธุ์วางไข่ในช่วงใดของปี โดยเฉพาะค่า GSI ในพ่อ-แม่ปลาก่อนฤดูผสมพันธุ์และวางไข่จะมีค่าสูงขึ้นและสูงสุดในฤดูผสมพันธุ์และวางไข่ ภายหลังจากแม่ปลาวางไข่เรียบร้อยแล้วก็จะมีค่า GSI ลดลง ขณะที่ความดกของไข่ปลา (Fecundity) หมายถึง จำนวนไข่แก่ (Ripening egg) ที่มีในรังไข่ก่อนแม่ปลาจะผสมพันธุ์วางไข่ (Spawning) ซึ่งในปลาแต่ละชนิดจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น พฤติกรรมการดูแลลูกปลา ซึ่งปลาที่มีการดูแลลูกปลาดี เช่น ปลานิล จะมีความดกของไข่น้อยกว่าปลาที่ดูแลลูกปลาได้ไม่ดี ขนาดของไข่ปลาที่มีขนาดไข่ใหญ่จะมีความดกของไข่ปลาน้อยกว่าปลาที่มีขนาดไข่ปลาเล็ก สำหรับปลาชนิดเดียวกันที่มีขนาดเท่ากันพบว่า ปลาที่มีขนาดใหญ่จะมีความดกของไข่ปลามากกว่าปลาขนาดเล็ก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสมบูรณ์ของพ่อ-แม่ปลา การประเมินความดกของไข่ปลาโดยวิธีการชั่งน้ำหนัก (Gravimetric method) นิยมทำในปลาขนาดใหญ่ที่มีจำนวนไข่มาก เพราะไม่สามารถนับโดยตรงได้หมด แล้วนับไข่โดยตรงว่ามีจำนวนเท่าไรจากนั้นคำนวณกลับด้วยบัญญัติไตรยางศ์เทียบน้ำหนักก็สามารถประเมินความดกของไข่ปลาได้ทั้งหมด (เกรียงศักดิ์, 2550)

ระบบภูมิคุ้มกันปลา

ระบบภูมิคุ้มกันปลาเป็นแบบง่าย ๆ ไม่ซับซ้อนเหมือนสัตว์มีกระดูกสันหลังชั้นสูง เช่น มนุษย์ กระต่าย หรือหนู อวัยวะของปลาที่ทำหน้าที่สร้างภูมิคุ้มกัน ได้แก่ ต่อมไทมัส ไตส่วนหน้า และม้าม โดยอวัยวะเหล่านี้ จะเริ่มพัฒนาหลังจากไข่ได้รับการปฏิสนธิ ในแต่ละดับของการพัฒนาการจะแตกต่างกันระหว่างปลาน้ำจืด น้ำกร่อย และปลาทะเล ต่อมไทมัสเป็นอวัยวะแรกที่มีการพัฒนา ตามด้วยไตและม้าม โดยปลาจะมีการพัฒนาที่แตกต่างกันตามชนิด โดยต่อมไทมัสจะปรากฏให้เห็นตั้งแต่

0 – 30 วัน หลังการฟักเป็นตัว นอกจากนี้ อุณหภูมิมีผลต่อการพัฒนาของอวัยวะดังกล่าวด้วย (ชนกันต์, 2558)

ระบบภูมิคุ้มกันในสัตว์ซึ่งรวมไปถึงปลาด้วย แบ่งได้ตามลักษณะการทำงานได้ 2 ชนิด คือ ระบบภูมิคุ้มกันแบบสารน้ำ (Humoral immunity) และภูมิคุ้มกันที่เกี่ยวกับเซลล์ (Cellmediated immunity) ระบบภูมิคุ้มกันแบบเซลล์ได้แก่ เซลล์มาโครฟาจ (Macrophage) และนิวโตรฟิล (Neutrophil) ซึ่งทำหน้าที่ในการจับกินเชื้อโรคและสิ่งแปลกปลอม (Phagocytotic cell) ปลาสามารถผลิตเซลล์ที่เรียกว่า Nonspecific cytoxic cell (NCC) ทำหน้าที่คล้ายกับเซลล์เม็ดเลือดขาวของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมที่มีความสามารถในการทำลายเซลล์ที่ติดเชื้อไวรัสหรือเซลล์มะเร็ง (ชนกันต์, 2557)

ระบบภูมิคุ้มกันของปลามีทั้งแบบไม่จำเพาะและจำเพาะ โดยแต่ละระบบประกอบด้วยระบบการทำงานโดยเซลล์และสารนำระบบภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะ หรือภูมิคุ้มกันโดยกำเนิดมีความสำคัญมากในการป้องกันการติดเชื้อของปลา กลไกของภูมิคุ้มกัน แบบไม่จำเพาะที่เกี่ยวข้องกับเซลล์ ได้แก่ ผิวหนัง เซลล์เนื้อเยื่อบริเวณผิว เหงือก ชั้นของเมือก เซลล์ที่มีลักษณะพิเศษ เช่น มาโครฟาจ (Macrophage) แกรนูโลไซต์ (Granulocyte) และเซลล์พิฆาตตามธรรมชาติ (Natural killer cell) นอกจากนี้ ยังมีสารนำชนิดต่าง ๆ เช่น ไลโซไซม์ (Lysozyme) สารที่เกี่ยวกับปฏิกิริยาจับกลุ่มหรือแอ็กกลูตินิน (Agglutinin) สารที่เกี่ยวกับปฏิกิริยาการตกตะกอน (Precipitin) เอนไซม์ในการย่อยสลายแบคทีเรีย (Antibacterial lytic enzymes) ทรานส์เฟอร์ริน (Transferrin) คอมพลีเมนต์และอินเตอร์เฟอรอน (Interferon) ปลามีการตอบสนองภูมิคุ้มกันแบบจำเพาะเช่นกัน โดยดูได้จากแอนติบอดี หรือ อิมมิวโนโกลบูลิน (Immunoglobulin) ตัวรับบนผิวทีเซลล์ (T-cell receptors) ไซโตไคน์ (Cytokines) และบริเวณที่เป็นที่ตั้งของกลุ่มของยีนซึ่งเป็นตัวกำหนดและควบคุมลักษณะของแอนติเจนบนผิวเซลล์ (Major histocompatibility complex molecules) การตอบสนองด้านเซลล์จะมีลักษณะคล้ายกับสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม กล่าวคือ จะเกิดขึ้นโดยการช่วยเหลือของเซลล์มาโครฟาจและเดนดริติคเซลล์ (Dendritic cell) เพื่อที่จะนำเสนอแอนติเจนต่อทีเซลล์ระบบภูมิคุ้มกันหลักกลุ่มสารน้ำในสัตว์มีกระดูกสันหลังคือ อิมมูโนโกบูลิน (Immunoglobulin, Ig) เดิมมีความเชื่อว่าปลากระดูกแข็งมีแอนติบอดีชนิดเดียวคือ IgM แต่จะมีรูปแบบที่แตกต่างกันไปในปลาแต่ละชนิด ปัจจุบันมีรายงานการพบแอนติบอดี IgD และ IgZ ในปลาบางชนิด (ชนกันต์, 2558)

สารในน้ำเลือดเป็นเอนไซม์หรือกลุ่มซีรัมโปรตีนหลากหลายชนิด ทำหน้าที่ควบคุม ยับยั้งเชื้อก่อโรคไม่ให้แพร่กระจายไปได้กว้างขวางขึ้น เช่น ไลโซไซม์ (Lysozyme) เป็นเอนไซม์ชนิดหนึ่งในกลุ่มไฮโดรเลส (Hydrolase) ซึ่งเอนไซม์ชนิดนี้มีคุณสมบัติในการตัดพันธะ B-1, 4 ไกลโคซิดิกระหว่าง N-acetylglucosamine และ N-acetylmuramic acid ซึ่งโพลิเมอร์เหล่านี้เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์แบคทีเรียทำให้ผนังเซลล์พังเสียหาย จึงถือได้ว่าไลโซไซม์เป็นเอนไซม์ที่ใช้ป้องกันตัวเองจากการ

ติดเชื้อแบคทีเรียโดยสามารถทำลายมิวโคพอลิแซ็กคาไรด์ (Mucopolysaccharide) ที่ผนังเซลล์แบคทีเรียแกรมบวกทำให้เซลล์แตกได้ ส่วนผนังชั้นนอกสุดของแบคทีเรียแกรมลบเป็นพวกลิโพโปรตีน (Lipoprotein) แต่ถ้ามีแอนติบอดีกับคอมพลีเมนต์เข้าช่วยทำลายชั้นลิโพโปรตีนก่อนไลโซไซม์จะสามารถเข้าทำลายผนังเซลล์แบคทีเรียแกรมลบได้ ไลโซไซม์ถูกผลิตออกมาจากเซลล์ที่ทำหน้าที่จับกินสิ่งแปลกปลอม (Phagocytic cell) เช่น โมโนไซท์ (Monocyte) แมโครฟาจ (Macrophage) และโพลีมอร์โฟนูเคลียร์-แกรนูโลไซท์ (Polymorphonuclear granulocyte) แล้วปล่อยออกมาในกระแสเลือดซึ่งจะอยู่ในส่วนของน้ำเลือด กิจกรรมของไลโซไซม์จะขึ้นอยู่กับความสมบูรณ์ของร่างกายหรือตัวปลา ความเครียดและปัจจัยสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ (นิลุบล และคณะ, 2549)

โภชนาการจากเนื้อปลา

ปลาเป็นอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง จึงจัดปลาไว้ในอาหารหลักหมู่ที่หนึ่งในประเภทเนื้อสัตว์ ไข่ นมและถั่วเมล็ดแห้ง โปรตีนในเนื้อปลาจะถูกนำไปใช้ในการเสริมสร้างเนื้อเยื่อและซ่อมแซมสิ่งที่สึกหรอ ไขมันที่มีอยู่ในเนื้อปลาจะเป็นส่วนประกอบของเซลล์ต่าง ๆ โดยเฉพาะสมอง จะช่วยป้องกันการจับแข็งตัวของไขมันในเส้นเลือด ส่วนวิตามิน และแร่ธาตุที่มีอยู่ในเนื้อปลาจะควบคุมการทำงานของร่างกายให้ทำหน้าที่ได้ตามปกติ (กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, 2550)

คุณค่าทางด้านโปรตีน

ปลาชนิดต่าง ๆ ให้โปรตีนในปริมาณที่สูงโดยในส่วนของเนื้อปลา 100 กรัม จะประกอบขึ้นด้วยโปรตีนดังนี้ ปลาดุก 23.0 กรัม ปลาตะเพียน 22.0 กรัม ปลากระบอก 20.7 กรัม ปลาช่อน 20.5 กรัม ปลาทู 20.0 กรัม ปลาแป้น 19.6 กรัม ปลาเก๋า 18.08 กรัม ปลาทรายแดง 18.4 กรัม ปลาตาเดียว 18.1 กรัม ปลาไส้ตัน 18.0 กรัม ปลากราย 17.5 กรัม ปลาหมอไทย 17.2 กรัม ปลาสวาย 15.4 กรัม ปลาหมึกกล้วย 15.2 กรัม และปลาเนื้ออ่อน 14.4 กรัม เป็นต้น

เมื่อทำการศึกษาลงไปในรายละเอียดในด้านคุณภาพของโปรตีนในเนื้อปลาโดยทำการวิเคราะห์หาปริมาณกรดอะมิโน พบว่า โปรตีนในเนื้อปลาประกอบด้วยกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายสูง โดยเฉพาะไลซีนและทรีโอนีน ซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตในเด็กและจากการประเมินคุณภาพของโปรตีนโดยใช้ค่าของกรดอะมิโน (Amino acid score) พบว่า ปลาต่าง ๆ มีดังนี้ ปลาทู 92 (ทัดเทียมกับน้ำนมวัวซึ่งมีค่าเท่ากับ 91) ปลาตาเดียว 88 ปลาทรายแดง 81 ปลาช่อน 76 และหมึกกล้วย 74 เนื้อปลานั้นนอกจากจะมีคุณภาพและปริมาณของโปรตีนสูงแล้วยังพบว่า มีเนื้อเยื่อเกี่ยวพันน้อยมากเมื่อเทียบกับเนื้อสัตว์อย่างอื่น ดังนั้นเนื้อปลาจึงมีลักษณะอ่อนนิ่ม เคี้ยวง่าย นำไปใช้ประโยชน์ได้เต็มที่ จึงเหมะสำหรับเป็นอาหารทารก ผู้สูงอายุและผู้ป่วย

คุณค่าทางด้านไขมัน

ไขมันที่ประกอบในเนื้อปลาทำให้รสชาติและสีของเนื้อปลาแตกต่างกันออกไป เนื้อปลา 100 กรัม ประกอบด้วยไขมันดังนี้ ปลาสวาย 21.5 กรัม ปลาทู 6.7 กรัม ปลากระบอก 3.9 กรัม ปลาช่อน 3.8 กรัม ปลาตะเพียน 2.6 กรัม ปลาดุก 2.4 กรัม ปลาเนื้ออ่อน 2.3 กรัม ปลากราย 1.6 กรัม ปลาทรายแดง 1.0 กรัม ปลาแป้น 1.0 กรัม ปลาหมึกกล้วย 0.7 กรัม ปลาเก๋า 0.5 กรัม ปลาไส้ตัน 0.3 กรัม และปลาตาเดียว 0.1 กรัม เป็นต้น

เมื่อทำการศึกษาถึงคุณภาพของไขมันที่อยู่ในเนื้อปลา โดยทำการวิเคราะห์หาปริมาณของกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกาย โดยเฉพาะกรดไลโนเลอิค (Linoleic acid ; C 18:2, n 6) ซึ่งมีหน้าที่ต่างๆ ต่อร่างกาย ดังนี้

1. เป็นส่วนประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์โดยการเปลี่ยนเป็นกรดไขมันที่จำเป็นอีกชนิดหนึ่ง คือ กรดอะแรคคิโดนิค (Arachidonic acid) (C 20:4, n 6)

2. ควบคุมระดับของโคเลสเตอรอล (Cholesterol) และไตรกลีเซอไรด์ (Triglycerides) ในเลือดจึงมีส่วนลดอัตราการตายจากโรคหัวใจชนิดหลอดเลือดแดงที่ไปเลี้ยงหัวใจตีบตัน

3. เป็นต้นกำเนิดฮอร์โมนโพรสตาไซคลิน (Prostacyclin) ซึ่งมีฤทธิ์ขัดขวางการจับตัวของเกร็ดเลือด ป้องกันการอุดตันของหลอดเลือดต่าง ๆ

4. กรดไลโนเลอิคที่เปลี่ยนเป็นฮอร์โมนโปรสตาแกลนดิน จะทำให้ไตเพิ่มการขับถ่ายโซเดียมและน้ำออกจากร่างกาย จึงช่วยควบคุมความดันโลหิตให้อยู่ในเกณฑ์ปกติ ผลของการวิเคราะห์พบว่าปลาชนิดต่าง ๆ มีองค์ประกอบของไลโนเลอิคเป็นเปอร์เซ็นต์ของไขมันดังนี้ ปลาตะเพียน 19.36 เปอร์เซ็นต์ ปลากราย 13.47 เปอร์เซ็นต์ ปลาดุก 11.82 เปอร์เซ็นต์ ปลาหมอไทย 9.03 เปอร์เซ็นต์ ปลาช่อน 6.00 เปอร์เซ็นต์ ปลาสวาย 4.00 เปอร์เซ็นต์ ปลาเนื้ออ่อน 4.09 เปอร์เซ็นต์ ปลาแป้น 2.65 เปอร์เซ็นต์ ปลาทรายแดง 2.05 เปอร์เซ็นต์ ปลาไส้ตัน 2.03 เปอร์เซ็นต์ ปลาเก๋า 1.77 เปอร์เซ็นต์ ปลาทู 1.67 เปอร์เซ็นต์ ปลาตาเดียว 1.49 เปอร์เซ็นต์ และหมึกกล้วย 1.67 เปอร์เซ็นต์ เป็นต้น

นอกจากกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกายแล้ว กองโภชนาการยังได้ทำการศึกษากรดไขมัน ชนิดไม่อิ่มตัวที่มีความสำคัญต่อร่างกายได้แก่ Eicosapentaenoic acid หรืออีพีเอ (EPA) Docosahexaenoic acic หรือ ดีเอ็ชเอ (DHA) ด้วย

อีพีเอ เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่งที่มีคุณสมบัติลดปัญหาการเป็นโรคหัวใจขาดเลือดได้ เนื่องจากเป็นสารตั้งต้นในการสร้างสารไอโคซานอยด์ที่มีคุณสมบัติลดการจับตัวของเกล็ดเลือด นอกจากนั้นร่างกายสามารถนำกรดไขมัน อีพีเอ นี้ไปสร้างสารที่ช่วยการขยายตัวของหลอดเลือดด้วยอีพีเอ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของไขมัน ดังนี้ ปลาทู 12.24 เปอร์เซ็นต์ หมึกกล้วย 8.00 เปอร์เซ็นต์ ปลาแป้น 7.87 เปอร์เซ็นต์ ปลาไส้ตัน 6.43 เปอร์เซ็นต์ ปลาเก๋า 4.44 เปอร์เซ็นต์ ปลาช่อน 3.70 เปอร์เซ็นต์ ปลาทรายแดง 3.05 เปอร์เซ็นต์ ปลาสวาย 2.22 เปอร์เซ็นต์ ปลาตาเดียว 2.06

เปอร์เซ็นต์ ปลาเนื้ออ่อน 1.73 เปอร์เซ็นต์ ปลาตะเพียน 0.76 เปอร์เซ็นต์ ปลาหมอไทย 0.73 เปอร์เซ็นต์ ปลากราย 0.68 เปอร์เซ็นต์ และปลาดุก 0.54 เปอร์เซ็นต์ เป็นต้น

สำหรับกรดไขมันอีกชนิดหนึ่งที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันนี้ คือ ดีเอ็ชเอนั้นมีส่วนพิสูจน์คำกล่าวที่ว่า กินปลาแล้วสมองดี สารดีเอ็ชเอนี้มีในผนังเซลล์ทั่วร่างกาย ทำให้เซลล์มีความไวต่อการรับสัญญาณประสาท นอกจากนั้น ยังพบว่ามีปริมาณสูงในจอตาและที่สำคัญที่สุด คือเป็นไขมันที่เป็นส่วนประกอบของเซลล์สมอง ซึ่งพบว่ามีถึงร้อยละ 65 หรับสมองมนุษย์มีไขมันชนิดนี้เป็นส่วนประกอบอยู่ครึ่งหนึ่งก่อนกำเนิด ส่วนทีเหลือจะได้มาในช่วงปีแรกของชีวิต เพราะฉะนั้น ดีเอ็ชเอ จึงมีความสำคัญมากต่อสตรีในระยะตั้งครรภ์และมารดาในระยะให้นมบุตร ที่ช่วยให้สมองทารกพัฒนาและเจริญเติบโตอย่างสมบูรณ์ ผลการวิเคราะห์กรดนี้จากเนื้อปลาคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของไขมันมี ดังนี้ หมึกกล้วย 29.41 เปอร์เซ็นต์ ปลาตาเดียว 25.35 เปอร์เซ็นต์ ปลาทรายแดง 25.01 เปอร์เซ็นต์ ปลาไส้ตัน 20.78 เปอร์เซ็นต์ ปลาเก๋า 19.38 เปอร์เซ็นต์ ปลาช่อน 16.39 เปอร์เซ็นต์ ปลาทู 14.96 เปอร์เซ็นต์ ปลาแป้น 11.31 เปอร์เซ็นต์ ปลาสวาย 9.21 เปอร์เซ็นต์ ปลาหมอไทย 6.59 เปอร์เซ็นต์ ปลาดุก 4.22 เปอร์เซ็นต์ ปลาตะเพียน 4.50 เปอร์เซ็นต์ ปลาเนื้ออ่อน 3.15 เปอร์เซ็นต์ และปลากราย 2.23 เปอร์เซ็นต์ เป็นต้น

คุณค่าทางด้านแร่ธาตุ

เมื่อศึกษาถึงองค์ประกอบของแร่ธาตุที่มีอยู่ในเนื้อปลาพบว่า เนื้อปลาส่วนใหญ่มีส่วนประกอบของแร่ธาตุแคลเซียมและฟอสฟอรัสในสัดส่วนที่พอดีต่อการสร้างกระดูกและฟัน นอกจากนั้นยังพบว่าปลาบางชนิด ได้แก่ ปลาตาเดียว ปลาทู ปลาไส้ตัน ปลากระบอกและปลาหมอไทย มีธาตุเหล็กซึ่งเป็นส่วนประกอบในการสร้างเม็ดเลือดแดง ธาตุนี้ป้องกันโรคโลหิตจางได้และแร่ธาตุที่สำคัญอีกชนิดหนึ่งที่พบมากในปลาทะเลโดยเฉพาะปลาทู ปลาแป้น และปลากระบอก คือธาตุไอโอดีนที่เป็นส่วนประกอบของฮอร์โมนในต่อมไทรอยด์ มีหน้าที่ควบคุมการเผลาผลาญของพลังงานในร่างกาย นอกจากนั้นธาตุไอโอดีนยังเป็นส่วนสำคัญในการเจริญเติบโตของสมองด้วย

คุณค่าทางด้านวิตามิน

เนื้อปลามีส่วนประกอบของวิตามินบีหนึ่ง บีสอง และไนอะซิน ที่ช่วยในการเกิดพลังงานของสารคาร์โบไฮเดรท ไขมันและโปรตีน ทำให้ร่างกายมีประสิทธิภาพในการประกอบการงานและการเรียนรู้ ปลาชนิดต่าง ๆ ที่มีวิตามินเหล่านี้สูง ได้แก่ ปลาทู ปลากราย ปลากระบอก ปลาแป้น ปลาทรายแดง ปลาตะเพียน ปลาหมอไทยและปลาหมึกกล้วย (กรมอนามัย, 2550)

โลหะหนักในเนื้อปลา

สารพิษที่เกิดขึ้นในบ่อเลี้ยงปลา ย่อมมีผลกระทบต่อการเลี้ยงปลาโดยตรง เนื่องจากสารพิษบางชนิดสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของปลา หรืออาจทำให้ปลาตายได้ สำหรับสารพิษที่มีผลกระทบต่อสัตว์น้ำโดยตรงคือ โลหะหนัก (Heavy metal) ซึ่งส่วนใหญ่มาจากการปลดปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น ปรอท (Hg) ทองแดง (Cu) แคดเมียม (Cd) ตะกั่ว (Pb) สังกะสี (Zn) และโครเมียม (Cr) สารพิษเหล่านี้สามารถทำอันตรายต่อสัตว์น้ำในระดับความเข้มข้นต่ำ สามารถสะสมในร่างกายสัตว์และถ่ายทอดมายังผู้บริโภคได้ (นฤมล, 2545)

โลหะหนักเป็นสารที่คงตัว เมื่ออยู่ในแหล่งน้ำสามารถตกตะกอนสะสมอยู่ในดิน พืช รวมถึงสะสมอยู่ในสัตว์น้ำ เมื่อโลหะหนักเหล่านี้รวมตัวกับสารอื่น ๆ เป็นสารประกอบอินทรีย์โลหะ ซึ่งเป็นพิษและสามารถ ถ่ายทอดเข้าสู่สิ่งมีชีวิตได้โดยผ่านไปตามห่วงโซ่อาหาร ถ้ามีปริมาณความเข้มข้นสูงมากจะทำให้เกิดอันตรายต่อสัตว์น้ำและผู้ที่นำสัตว์น้ำมาบริโภคตามการจัดอันดับผลกระทบของโลหะหนักที่มีต่อสุขภาพและคุณภาพชีวิตของ The Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) พบว่า ตะกั่ว ปรอท แคดเมียม โครเมียม เป็นโลหะหนักที่มีอันตรายใน 20 อันดับแรก ในขณะที่สังกะสี แมงกานีส ทองแดง ซีลีเนียม และเหล็ก ถูกจัดอันดับความอันตรายในลำดับท้าย ๆ และโลหะหนักทั้ง 5 ชนิดหลังนี้เป็นธาตุอาหารรองที่มีความสำคัญกับการดำรงชีวิตปลาและมนุษย์ คือ มีความต้องการในปริมาณที่ น้อยแต่ขาดไม่ได้ หากได้รับในปริมาณที่มากเกินก็เป็นอันตรายต่อสุขภาพเช่นกัน โลหะหนักแต่ละชนิด มีผลกระทบต่อสุขภาพและคุณภาพชีวิต ดังนี้

ตะกั่วเป็นโลหะหนักอันตรายในลำดับที่ 2 ของ ATSDR ส่วนใหญ่ใช้ในแบตเตอรี่ ส่วนผสมในน้ำมันเชื้อเพลิง และยาฆ่าแมลง ตะกั่วที่สะสมอยู่ในร่างกายมนุษย์จะมีผลต่อ กระดูก ไต ต่อมไทรอยด์ และทำให้สมองทำงานบกพร่องและสติปัญญาเสื่อมถอย ในเด็กที่ได้รับสารตะกั่วมากเกินไป สมองไม่พัฒนา ร่างกายไม่เจริญเติบโต

ปรอทเป็นโลหะหนักอันตรายในลำดับที่ 3 ของ ATSDR เป็นโลหะที่อยู่ในสถานะของเหลว สามารถระเหยเป็นไอเข้าสู่ร่างกายทางระบบหายใจ และเข้าสู่ระบบหมุนเวียนโลหิตยึดกับเม็ดเลือดแดงและกระจายไปยังสมองและส่วนอื่นๆ ของร่างกาย โรคที่มีสาเหตุมาจากปรอทสะสมในร่างกาย คือ โรคมินามาตะ (Minamata)

แคดเมียมเป็นโลหะหนักอันตรายในลำดับที่ 7 ของ ATSDR มีการใช้ในยาฆ่าแมลง และยาฆ่าเชื้อรา แคดเมียมที่เข้าสู่ร่างกายทำความเสียหายต่อระบบต่าง ๆ ภายในร่างกายได้แก่ ไต กระดูก ปอด หัวใจ และการทำงานของเอนไซม์ โรคที่ได้รับพิษจากแคดเมี่ยมเรื้อรังคือ โรคอิไตอิต (Itai-itai)

โครเมี่ยม เป็นโลหะหนักอันตรายในลำดับที่ 18 ของ ATSDR ใช้ในอุตสาหกรรมการชุบโลหะ การรับโครเมี่ยมเข้าสู่ร่างกายมีผลทำให้เป็นโรคโลหิตจาง

สังกะสี เป็นโลหะหนักอันตรายในลำดับที่ 74 ของ ATSDR ใช้เป็นสารเคลือบผิวเพื่อป้องกันการกัดกร่อนสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้า การขาดสังกะสีจะทำให้ต่อมไร้ท่อทำงานผิดปกติ แต่ถ้าได้รับในปริมาณมากเกินความจำเป็น ไปขัดขวางการใช้ธาตุทองแดงของร่างกาย เป็นผลให้ระดับทองแดงในเม็ดเลือดขาวต่ำ

แมงกานีส เป็นโลหะหนักอันตรายในลำดับที่ 117 ของ ATSDR ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตเหล็กและโลหะผสม แมงกานีสมีความสำคัญต่อพืชในการสังเคราะห์แสง เป็นองค์ประกอบสำคัญในเอนไซม์ควบคุมการใช้ยูเรียและไนเตรตของพืช แมงกานีสมีความจำเป็นสำหรับการปลูกพืช เช่น ถั่ว ลิสง ถั่วเหลือง ข้าวโพดและธัญพืช สำหรับในสัตว์ แมงกานีสเป็นองค์ประกอบของเอนไซม์ที่ทำหน้าที่ เผาผลาญโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต การได้รับแมงกานีสจำนวนน้อยทำให้มีการเจริญเติบโต อย่างปกติ แต่ถ้ามากเกินไป จะไปทำลายระบบประสาทส่วนกลางจนถึงขั้นเป็นอัมพาตได้

ทองแดง เป็นโลหะหนักอันตรายในลำดับที่ 128 ของ ATSDR เป็นโลหะที่ใช้ผลิตสายไฟฟ้า ทองแดงในปริมาณน้อยมีความจำเป็นต่อการสร้างเม็ดเลือดแดง การพัฒนาของกระดูก แต่ถ้าได้รับมากเกินจะทำให้เป็นโรคโลหิตจาง เพราะทองแดงจะไปขัดขวางการดูดซึมธาตุเหล็ก ในกรณีที่ได้รับการ สัมผัสทองแดงในปริมาณมากทำให้เกิดการระคายเคืองของจมูกปากและตา มีอาการอาเจียน ท้องเสียและอาจเสียชีวิต

ซีลีเนียม เป็นโลหะหนักอันตรายในลำดับที่ 147 ของ ATSDR มีการใช้ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ การปนเปื้อนในสภาพแวดล้อมเกิดจากกิจกรรมการเกษตร สิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรม และการเผาไหม้ถ่านหินและน้ำมัน โดยทั่วไปประชาชนอาจได้รับซีลีเนียมในระดับต่ำทุกวันผ่านทางอาหารและน้ำเพราะเป็นธาตุอาหารรองที่มีความสำคัญสำหรับร่างกาย แต่การได้รับในระดับที่สูงมากอาจส่งผลกระทบต่อระบบประสาท ทำให้เกิดอาการวิงเวียนศีรษะอ่อนเพลีย การระคายเคืองของเยื่อเมือก และมีผลกระทบระบบทางเดิน

ได้มีการศึกษาการสะสมของโลหะหนัก ในเนื้อปลานิลที่เลี้ยงในบ่อบำบัดน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรี วางแผนการทดลองแบบ CRD มี 5 วิธีการทดลอง 3 ซ้ำ โดยทำการทดลองเลี้ยงปลานิลในกระชังในบ่อบำบัดน้ำเสีย จำนวน 5 บ่อ บ่อละ 3 กระชัง ระยะเวลาทดลอง 180 วัน ตรวจวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในเนื้อปลานิลก่อนปล่อยปลาลงเลี้ยง และหลังจากที่เลี้ยงปลาเป็นระยะเวลา 60, 120 และ 180 วัน โดยตรวจหาโลหะหนัก 6 ชนิด ได้แก่ ปรอท ตะกั่ว แคดเมียม นิกเกิล โครเมียม และอาร์เซนิกผลการศึกษาพบว่าปริมาณของปรอท มีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุดคือ น้อยกว่า 0.02 ppm ส่วนนิกเกิลมีค่ามากที่สุดคือ 1.75 ppm รองลงมาคือ โครเมียม ตะกั่ว แคดเมียม และอาร์เซนิกซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.17 น้อยกว่า 0.05, 0.47 และ 0.25 ppm ตามลำดับ อัตราการสะสมของปรอทและตะกั่วในเนื้อปลานิลเป็นไปในอัตราเดียวกับการเจริญเติบโตของปลา จึงทำให้มีค่าเฉลี่ยคงที่ตลอดการทดลอง ส่วนแคดเมียม นิกเกิล โครเมียม และอาร์เซนิก พบว่าอัตราการสะสมของโลหะ

ทั้ง 4 ชนิด มีอัตราสูงกว่าอัตราการเจริญเติบโตของปลานิล ทำให้พบโลหะหนักเหล่านี้ในปริมาณมากขึ้นใน ปลานิลที่โตขึ้น โดยการสะสมของโครเมียมและนิกเกิลมีแนวโน้มที่สะสมในอัตราที่สูงกว่าแคดเมียมและอาร์เซนิก ปริมาณของโลหะหนักทั้ง 6 ชนิด ที่ตรวจพบในปลานิลที่เลี้ยงในบ่อบำบัดน้ำเสียมีค่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานของกระทรวงสาธารณะสุข (จารวี, 2541)

คุณภาพน้ำที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงปลานิลทั่วไป

แหล่งน้ำและคุณภาพน้ำเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโต สุขภาพ การ ดำรงชีพ การสืบพันธุ์และแพร่พันธุ์ของสัตว์น้ำ เนื่องจากสัตว์น้ำต้องอาศัยน้ำเป็นสื่อกลางในการหายใจ การหาอาหาร การรักษาสมดุลของร่างกาย กิจกรรมทางชีวเคมี การใช้อาหาร และการขับถ่ายของเสีย ฉะนั้น น้ำจึงเปรียบเหมือนบ้านของสัตว์น้ำ หากคุณภาพน้ำที่เหมาะสมและดีแล้ว สัตว์น้ำก็จะ เจริญเติบโต มีสุขภาพและมีคุณภาพที่ดี จึงสามารถจำหน่ายได้ในราคาที่สูง เมื่อมีการเพาะเลี้ยงสัตว์ น้ำที่สามารถจัดการควบคุมคุณภาพน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ จะช่วยให้การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำประสบความสำเร็จได้ อย่างไรก็ตาม คุณภาพน้ำที่ดี จะมีความสัมพันธ์กับชนิดและคุณภาพดิน แหล่งน้ำ และคุณภาพน้ำ (เบทาโกร, 2557)

คุณภาพน้ำที่จำเป็นสำหรับการเลี้ยงปลาน้ำจืด

คุณภาพน้ำที่มีผลต่อการเลี้ยงปลา แบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทคือ คุณภาพน้ำทางด้านกายภาพ คุณภาพน้ำทางด้านเคมีและคุณภาพน้ำทางด้านชีวภาพ ซึ่งรายละเอียดดังกล่าวต่อไปนี้ (นฤมล, 2545)

1. คุณภาพน้ำทางด้านกายภาพ หมายถึงดัชนีคุณภาพน้ำที่ผันแปรอันเกิดจากลักษณะกายภาพที่ สามารถตรวจวัดได้ และมีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในทางตรงหรือทางอ้อม เช่น สี (Colour), ความขุ่น (Turbidity), อุณหภูมิ (Temperature), ค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity), ปริมาณสารแขวนลอย (Suspended solids) เป็นต้น (ชนินทร์, 2550)

1.1 สีน้ำ (Water color) สีน้ำในบ่อเลี้ยงปลาบ่งบอกถึงปริมาณของแพลงก์ตอน สารแขวนลอยในน้ำ และสภาพแวดล้อม สีที่ปรากฏในน้ำเกิดจากการสะท้อนแสงของสิ่งที่อยู่ในน้ำ ไม่ว่าจะเป็นสิ่งมีชีวิตหรือไม่มีชีวิตก็ตาม สีน้ำที่เหมาะสมในการเลี้ยงปลาควรมีสีเขียวอมเหลือง หรือสีน้ำตาลอ่อน เนื่องจากมีปริมาณของอินทรีย์วัตถุในปริมาณที่มาก และน้ำที่ไม่เหมาะสมในการเลี้ยงปลา คือ น้ำที่มีสีเขียวจนถึงสีน้ำเงิน เนื่องจากมีสารอินทรีย์น้อย นอกจากนี้พวกธาตุหรือสารอาหารหรือพวกสารอินทรีย์ก็มีผลทำให้น้ำมีการเปลี่ยนแปลงสีได้เช่นกัน (นฤมล, 2545)

สีของน้ำจำแนกได้เป็น 2 ประเภท คือ

สีปรากฏ เป็นสีของน้ำที่ปรากฏให้เห็นแก่สายตาเป็นส่วนใหญ่ โดยเกิดจากการสะท้อนของ สารแขวนลอยในพื้นท้องน้ำและจากท้องฟ้า

สีจริง เป็นสีของน้ำเกิดจากสารละลายชนิดต่าง ๆ โดยอาจเป็นสารอินทรีย์ หรือสารอนินทรีย์ เช่น แร่ธาตุต่าง ๆ ซึ่งจะทำให้เกิดสีของน้ำต่าง ๆ กันขึ้นอยู่กับลักษณะและคุณสมบัติเฉพาะตัวของสารดังกล่าว (ชนินทร์, 2550)

1.2 อุณหภูมิ (Temperature) อุณหภูมิของน้ำเป็นปัจจัยสำคัญอันหนึ่งที่มีอิทธิพลทั้งโดยทางตรงและโดยอ้อมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ ปกติอุณหภูมิของน้ำธรรมชาติจะผันแปรตามอุณหภูมิของอากาศซึ่งขึ้นอยู่กับ ฤดูกาล ระดับความสูงและสภาพภูมิประเทศ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับความเข้มของแสงจากดวงอาทิตย์ กระแสลม ความลึก ปริมาณสารแขวนลอยหรือความขุ่นและสภาพแวดล้อมทั่ว ๆ ไปของแหล่งน้ำ อุณหภูมิของน้ำในธรรมชาติจะผันแปรอยู่ในช่วงระหว่าง 23 ถึง 32 องศาเซลเซียส

โดยปกติอุณหภูมิภายในตัวปลาจะแตกต่างไปจากอุณหภูมิของน้ำเพียง 0.5 ถึง 1 องศาเซลเซียสเท่านั้น เหงือกปลาเป็นอวัยวะที่สำคัญในการช่วยถ่ายเทและรักษาระดับอุณหภูมิของร่างกาย การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำอย่างรวดเร็ว สามารถทำให้เกิดอันตรายโดยตรงต่อสัตว์น้ำได้ เช่น ทำ ให้ระบบการควบคุมขับถ่ายน้ำและแร่ธาตุภายในร่างกายผิดปกติไป ซึ่งจะทำให้ร่างกายอ่อนแอและตายได้ ผลกระทบที่สำคัญต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำที่อุณหภูมิสูงขึ้น คือปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำจะมีอัตราผกผันหรือตรงกันข้ามกับอุณหภูมิของน้ำ กล่าวคือเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นปริมาณออกซิเจนละลายน้ำจะลดลง ในขณะที่ขบวนการเมทาบอลิซึมซึมผันแปรตามอุณหภูมิดังกล่าวมาแล้ว การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในน้ำยังมีผลทำให้พืชน้ำโดยเฉพาะแพลงก์ตอนพืชมีการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนปริมาณแตกตางกัน บางชนิดชอบอาศัยอยู่ในน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำ เช่น ไดอะตอม สามารถเจริญเติบโตได้ดีในน้ำอุณหภูมิระหว่าง 15-25 องศาเซลเซียส สาหร่ายสีเขียวชอบอาศัยในน้ำที่มีอุณหภูมิสูงถึง 35 องศาเซลเซียส (ชนินทร์, 2550)

1.3 ความขุ่น (Turbidity) ความสามารถของน้ำที่สกัดกั้นหรือดูดซับปริมาณแสงที่ส่องผ่านไว้ได้ ความขุ่นของน้ำแสดงถึงความสามารถของสารแขวนลอยในน้ำ ที่จะขัดขวางการสะท้อนแสงและดูดซับแสงเอาไว้ สิ่งที่ทำให้น้ำขุ่น ได้แก่ อินทรีย์และอนินทรีย์สารในน้ำ ตลอดจนสิ่งมีชีวิตเล็ก ๆ โดยปรากฏอยู่ในลักษณะสารแขวนลอย เช่น อนุภาคของดิน ทราย แพลงก์ตอน แบคทีเรีย เป็นต้น (ชนินทร์, 2550)

2. ลักษณะทางเคมีภาพ หมายถึง ดัชนีคุณภาพน้ำที่ผันแปรอันเนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมีที่สามารถตรวจวัดได้และมีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำทั้งทางตรงและทางอ้อม เช่น ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH), ความเป็นกรด (Acidity), ความเป็นด่าง (Alkalinity), ความกระด้าง (Hardness), ปริมาณออกซิเจนละลาย (Dissolved Oxygen), ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์อิสระ (Free carbon dioxide),

ไนโตรเจน (Nitrogen), ฟอสฟอรัส (Phosphorus), ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Hydrogen sulphide), ความเค็ม (Salinity), โลหะหนัก (Heavy metals), สารพิษ (Pesticides) (ชนินทร์, 2550)

2.1 ค่าความโปร่งแสง (Transparency) ค่าความโปร่งใสในน้ำอาจเกิดจากปริมาณแพลงก์ตอนหรือปริมาณสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำ ค่า ของความโปร่งแสง สามารถประเมินความอุดมสมบูรณ์ในน้ำได้อย่างคร่าวๆ ดังนี้ หากค่าความโปร่งแสงปริมาณ 30-60 เซนติเมตร แสดงว่า แหล่งน้ำมีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ หากค่าความโปร่งแสงมากกว่า 60 เซนติเมตร แสดงว่าแหล่งน้ำไม่มีความอุดมสมบูรณ์ ซึ่งไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ หากค่าความโปร่งแสงน้อยกว่า 30 เซนติเมตร แสดงว่า น้ำมีปริมาณแพลงก์ ตอนหรือปริมาณอินทรีย์สารและอนินทรีย์สารมากเกินไปไม่มีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ (นฤมล, 2545)

2.2 ความเค็ม (Salinity) ความเค็มหมายถึง ปริมาณของเกลือแร่ต่าง ๆ โดยเฉพาะโซเดียมคลอไรด์ที่ละลายอยู่ในน้ำ ความเค็มของน้ำมีผลต่อระบบควบคุมปริมาณน้ำภายในร่างกายของปลา การเปลี่ยนแปลงความเค็มของน้ำอย่างกะทันหันทำให้ปลาตายได้ สำหรับปลานิลแดงเป็นปลาที่สามารถทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของ ความเค็มได้ในช่วงกว้างและทนทาน สามารถเพาะเลี้ยงได้ในน้ำที่มีความเค็ม 0-25 ppt (กรมควบคุมมลพิษ, 2557)

ความเค็มของน้ำที่มีค่าแตกต่างกันออกไป สามารถแบ่งได้ตามระดับของความเค็มดังนี้ น้ำจืด คือ น้ำที่มีความเค็ม 0 ppt น้ำกร่อย คือ น้ำที่มีความเค็มระหว่าง 0.5-30.0 ppt และน้ำเค็ม คือน้ำที่มีความเค็มมากกว่า 30.0 ppt ความเค็มของน้ำมีผลต่อระบบการควบคุมปริมาณน้ำในร่างกายของสัตว์น้ำ ซึ่งมีผลมาจากความแตกต่างของแรงดันออสโมติกระหว่างน้ำภายในตัวและน้ำที่อยู่ล้อมรอบ ปลาน้ำจืดและปลาทะเลมีการปรับตัวที่แตกต่างกัน ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้ ปลาน้ำจืดมีแรงดันออสโมติกภายในตัวสูงกว่าน้ำภายนอกตัว น้ำจากภายนอกพยายามแทรกซึมเข้าสู่ตัวปลา ดังนั้นปลาน้ำจืดจึงต้องมีการกำจัดน้ำส่วนเกินความจำเป็นออกไปสู่ภายนอกตัว โดยปลาน้ำจืดส่วนใหญ่มีเกล็ดเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำเข้าไปในตัวและหุบปากเวลาว่ายน้ำ เมื่อเวลากินอาหารปลาจะพยายามกินน้ำเข้าไปในปริมาณน้อย ๆ แต่สำหรับปลาทะเลมีแรงดันออสโมติกในตัวต่ำกว่าน้ำทะเลที่อยู่ภายนอก น้ำที่อยู่ภายในตัวจะแทรกซึมออกสู่ภายนอกตลอดเวลา ดังนั้นปลาจึงต้องกินน้ำตลอดเวลาและเมื่อเวลาฮุบเหยื่อพยายามกินน้ำเข้าไปพร้อมเหยื่อมาก ๆ และส่วนใหญ่ปลาทะเลไม่มีเกล็ดเพราะต้องการให้น้ำซึมเข้าตัวตลอดเวลา (นฤมล, 2545)

2.3 ความเป็นกรด เป็นด่าง (pH) คือ ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนที่มีอยู่ในน้ำ ในบ่อเลี้ยงปลาจะมีการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่าง ในน้ำทั้งในช่วงกลางวันและกลางคืน ทั้งนี้เนื่องจาก แพลงก์ตอนพืชและพืชน้ำมีการสังเคราะห์แสงในตอนกลางวัน ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างสูงขึ้นและค่อย ๆ ลดในตอนกลางคืน ทำให้มีผลต่อการเลี้ยงปลาโดยตรงคือ ทำให้ปลาไม่เติบโตและตายได้ ช่วง ความเป็นกรด-ด่าง ที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงปลานิลอยู่ในช่วง 6.5-9 การ

ตรวจหาค่าความเป็น กรด-ด่าง สามารถวัดได้โดยใช้กระดาษวัดพีเอช จุ่มลงไปในน้ำแล้วนำไปเทียบสีบนกล่องกระดาษวัดพีเอช สำหรับน้ำที่เป็นกรดสามารถแก้ได้ด้วยการใส่ปูนขาวหรือปุ๋ยที่มีสภาพเป็นด่าง เช่น ปุ๋ยไนเตรท ส่วนน้ำที่เป็นด่างจะเติมปุ๋ยกรด เช่น แอมโมเนียซัลเฟต โดยปกตินำ้ที่เป็นด่างจะพบได้น้อยกว่าน้ำที่เป็นกรด (กรมควบคุมมลพิษ, 2557)

ระดับ pH ผลต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

- ต่ำกว่า 4.0 เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ มีผลให้ปลาและกุ้งทะเลตายได้
- 4.0 – 6.5 ปลาบางชนิดทนอยู่ได้ แต่ให้ผลผลิตต่ำ มีการเจริญเติบโตช้า การสืบพันธุ์หยุดชะงัก
- 6.5 – 9.0 เป็นช่วงที่เหมาะสมกับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ
- สูงกว่า 11.0 เป็นพิษต่อปลาและกุ้ง (ชนินทร์, 2550)

2.4 ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) คาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ปกติอยู่ในบรรยากาศประมาณร้อยละ 0.04 สามารถละลายน้ำได้ปกติ ในน้ำจะมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ในระดับที่น้ำมีความลึกมากก็ยิ่งจะมีคาร์บอนไดออกไซด์มากขึ้น และในน้ำบาดาลหรือน้ำจากแหล่งน้ำใต้ดินมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ละลายน้ำอยู่ประมาณ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร คาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำส่วนใหญ่ได้มาจากแหล่งต่าง ๆ ดังนี้

- จากบรรยากาศ โดยการดูดซึมและสัมผัสผิวน้ำโดยตรง ในความกดดัน 1 บรรยากาศ คาร์บอนไดออกไซด์สามารถละลายน้ำได้สูงถึง 1,700 มิลลิกรัมต่อลิตร
- จากจุลินทรีย์ในน้ำย่อยสลายแล้วเกิดผลพลอยได้ คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
- จากการหายใจของสิ่งมีชีวิตในน้ำ
- โดยการละลายของคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศปะปนลงมาในน้ำฝน ในการ ตรวจสอบน้ำฝนปริมาณ 1 ลิตร พบว่า มีคาร์บอนไดออกไซด์ปนอยู่ประมาณ 0.3-0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร

คาร์บอนไดออกไซด์ทำหน้าที่เป็นฉนวนร่วมกับสารประกอบชนิดอื่น ๆ ที่ละลายอยู่ในน้ำและเป็นตัวที่ควบคุมมิให้ระดับของ pH ในน้ำมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว เรียกว่า Buffer system เมื่อคาร์บอนไดออกไซด์รวมตัวกับน้ำเกิดกรดคาร์บอนิก ซึ่งเป็นกรดอ่อนสามารถแตกตัวให้ไฮโดรเจนไอออนและคาร์บอเนตไอออน เมื่อคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น pH ของน้ำลดลงและเมื่อคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง pH ของน้ำเพิ่มขึ้น หากสภาพน้ำมีความเป็นกรดเป็นด่างมากกว่า 8.3 แหล่งน้ำนั้นจะมีคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณที่ไม่สามารถที่จะวิเคราะห์ได้ ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงถือว่าน้ำไม่มีคาร์บอนไดออกไซด์อยู่เลย ในแหล่งน้ำที่มีคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณมากมีผลทำให้

ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนออกซิเจนน้อยลงและมีผลต่อระบบการหายใจของสัตว์น้ำ (นฤมล, 2545)

เนื่องจากปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ ความเป็นด่าง และความเป็นกรด มีความสัมพันธ์กัน และมีบทบาทต่อขบวนการหายใจของสัตว์น้ำและความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำ กล่าวคือหากสภาพน้ำมีความเป็นกลางเป็นด่างเล็กน้อยโอกาสที่สัตว์หรือแพลงค์ตอนพืช พืชน้ำจะใช้ธาตุอาหารได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น การย่อยสลายของแบคทีเรีย สารอินทรีย์ก็ดีขึ้น คาร์บอนไดออกไซด์อิสระ (CO_2) มีผลทำให้ระบบการหายใจของสัตว์น้ำผิดปกติ คาร์บอนไดออกไซด์มากทำให้การแลกเปลี่ยนออกซิเจนลดลง แม้ว่าในน้ำมีออกซิเจนเพียงพอ เช่น ถ้าในน้ำมีคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่า 60 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ปลาหลายชนิดไม่สามารถแลกเปลี่ยนออกซิเจนและตายได้ ค่าคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหมาะสมในน้ำควรมีค่าไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในรอบวันจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณออกซิเจน กล่าวคือ ในเวลากลางวันจะมีน้อยมากและมีมากในเวลากลางคืนและเป็นด่างเล็กน้อยในเวลากลางวัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2557)

2.5 ความเป็นด่าง (Alkalinity) ความเป็นด่างของน้ำ คือความสามารถรับโปรตอนหรือไฮโดรเจนอิออน (H^-) ของน้ำ หรือความสามารถของน้ำที่ทำให้สภาพความเป็นด่างกลายเป็นกลาง ความเป็นด่างของน้ำประกอบด้วยคาร์บอเนต ไบคาร์บอเนต และไฮดรอกไซด์เป็นส่วนใหญ่และอาจมีสารอินทรีย์ต่างๆปนอยู่บ้าง ส่วนใหญ่ค่าเป็นด่างของน้ำในพื้นที่แห้งแล้งจะมีค่าสูง ความเป็นด่างไม่เป็นพิษแต่มีผลเกี่ยวเนื่องกับคุณสมบัติอื่นๆของน้ำ เช่น ความเป็นกรด - ด่าง ความกระด้าง เป็นต้น น้ำที่มีค่าความเป็นด่างต่ำจะเป็นน้ำอ่อนและมีค่าความเป็นกรดเป็น - ต่ำ ซึ่งทำให้แหล่งน้ำมีผลผลิตต่ำ ซึ่งค่าความเป็นด่างของน้ำ สามารถปรับให้สูงขึ้นได้โดยการใส่ปูนขาว หว่านปูนขาวให้ทั่วบ่อในอัตรา 50-100 กิโลกรัมต่อไร่ (กรมควบคุมมลพิษ, 2557) ค่าความเป็นด่างที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงปลามีค่าอยู่ระหว่าง 25-500 มิลลิกรัมต่อลิตร (ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดอำนาจเจริญ, 2556)

2.6 ความเป็นกรด (Acidity) คือความสามารถของน้ำที่จะให้โปนตอนหรือไฮโดรเจนอิออนแก่แหล่งน้ำ ค่าของความเป็นกรดจะสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับจำนวนของสารประกอบต่าง ๆ ที่ละลายในน้ำ ดังต่อไปนี้ กรดคาร์โบนิค กรดแทนนิค พวกกรดแก่ทำให้ความเป็นกรดมีค่าสูงและทำให้มีค่า pH ต่ำมาก การวิเคราะห์หาความเป็นกรดสามารถใช้ด่างแก่ทำให้ปฏิกิริยากับน้ำ ค่าความเป็นกรดมีประโยชน์โดยสามารถบอกได้ว่าน้ำต้องเติมด่างหรือเกลือจำนวนเท่าใด มาทำปฏิกิริยาเพื่อให้ได้ pH เป็นกลาง การที่ความเป็นกรดเป็นผลเนื่องจากกรดอ่อนชนิดต่าง ๆ สามารถใช้ $CaCO_3$ เป็นตัวปรับ pH ได้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2557)

2.7 ความกระด้าง (Water hardness) หมายถึง ความเข้มข้นของไอออนของแคลเซียมและแมกนีเซียมที่ละลายอยู่ในน้ำ ความกระด้างของน้ำสามารถแยกประเภทของน้ำออกได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

- น้ำกระด้างชั่วคราว เกิดจากเกลือแมกนีเซียมไบคาร์บอเนต หรือเกลือแคลเซียมไบคาร์บอเนตละลายปนอยู่ในน้ำเมื่อถูกความร้อนเกลือที่ละลายอยู่ในน้ำจะตกตะกอนกลายเป็นหินปูน ทำให้ความกระด้างของน้ำหายไป

- น้ำกระด้างถาวร เกิดจากเกลือแคลเซียมคลอไรด์ แคลเซียมซัลเฟต แมกนีเซียมซัลเฟต แคลเซียมคาร์บอเนต หรือแมกนีเซียมคาร์บอเนต ซึ่งน้ำที่มีความกระด้างเช่นนี้จะแก้ไขไม่ได้

นอกจากนี้ ความกระด้างของน้ำสามารถจำแนกได้เป็นประเภทต่าง ๆ ได้ดังนี้ คือ น้ำอ่อนค่าความกระด้างอยู่ระหว่าง 0-75 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำกระด้างปานกลาง ค่าความกระด้างอยู่ระหว่าง 75-150 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำกระด้าง ค่าความกระด้างอยู่ระหว่าง 150-300 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำกระด้างมาก ค่าความกระด้างมากกว่า 300 มิลลิกรัมต่อลิตร

ความกระด้างของน้ำในแหล่งน้ำ หมายถึงผลรวมของความกระด้างชั่วคราวและความ กระด้างถาวร โดยคำนวณออกมาในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต สำหรับน้ำที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ มีค่าความกระด้าง 150-300 มิลลิกรัมต่อลิตร หากค่าความกระด้างต่ำสามารถปรับเพิ่มขึ้นได้โดยการใส่ปูนขาว ซึ่งนิยมทำกันในขั้นตอนของการเตรียมบ่อ (นฤมล, 2545)

2.8 ปริมาณออกซิเจนในน้ำ (Dissolved Oxygen) หรือ DO ออกซิเจนที่ละลายในน้ำจำเป็นสำหรับสิ่งมีชีวิตทุกชนิดที่อาศัยในน้ำ เนื่องจากสิ่งมีชีวิตต้องการออกซิเจนเพื่อการหายใจ และออกซิเจนยังเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของแบคทีเรีย ช่วยย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในน้ำ ปริมาณของออกซิเจนที่สามารถละลายในน้ำได้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความกดดันของบรรยากาศ โดยถ้าอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ความสามารถในการละลายของออกซิเจนในน้ำลดลง ในเวลาหนึ่งวันปริมาณออกซิเจนใน บ่อปลามีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา (นฤมล, 2545) ออกซิเจนเป็นปัจจัยที่นับว่ามีความสำคัญมากที่สุดในการดำรงชีวิต เนื่องจากสิ่งมีชีวิตทุกชนิดจำเป็นต้องใช้ออกซิเจนในขบวนการต่าง ๆ ภายในร่างกายเพื่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำเช่นกัน ต้องการใช้ออกซิเจนโดยเฉพาะเพื่อการหายใจ ความสามารถในการละลายน้ำของแก๊สออกซิเจนขึ้นอยู่กับความดันของบรรยากาศ อุณหภูมิของน้ำและปริมาณเกลือแร่ตาง ๆ ที่มีอยู่ในน้ำ ความสามารถในการละลายของแก๊สออกซิเจนในน้ำจืดอยู่ระหว่าง 14.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ 0 องศาเซลเซียสและ 6.8 มิลลิกรัมต่อลิตร 35 องศาเซลเซียสในสภาพความกดดัน 1 บรรยากาศ (ชนินทร์, 2550)

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ปลาต้องการออกซิเจนในการหายใจ เมื่อออกซิเจนในน้ำลดลงปลาจะโผล่มาหายใจที่ผิวน้ำ ปริมาณของออกซิเจนที่ละลายในน้ำจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัย ดังนี้

- อุณหภูมิ ออกซิเจนจะละลายในน้ำได้ดีและมากเมื่ออุณหภูมิของน้ำลดต่ำลง และถ้า อุณหภูมิของน้ำสูงขึ้น จะทำให้ออกซิเจนละลายน้ำได้น้อยลง อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเลี้ยงปลานิล ควรอยู่ในช่วง 25-32 องศาเซลเซียส

- ความเค็ม น้ำที่มีความเค็มต่ำออกซิเจนจะละลายได้ดี ถ้าน้ำมีความเค็มสูงออกซิเจนจะละลายน้ำได้น้อยลง

- การสังเคราะห์แสง ถ้าพืชน้ำและแพลงก์ตอนพืชมีการสังเคราะห์แสงมากปริมาณออกซิเจน ในน้ำจะเพิ่มมากขึ้น

- การหายใจ ถ้าสัตว์น้ำ พืชน้ำ และพรรณไม้น้ำมีปริมาณหนาแน่นมาก จะทำให้มีการใช้ ออกซิเจนเพิ่มมากขึ้น อาจทำให้เกิดภาวะขาดออกซิเจนและทำให้ปลาตายได้

ปริมาณออกซิเจนที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงปลานิล ไม่ควรต่ำกว่า 3.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งควร ต้องระมัดระวังมากในช่วงเช้า ซึ่งมักจะพบปรากฏการณ์ของปลาลอยหัวในตอนเช้า ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ปริมาณออกซิเจนในบ่อเลี้ยงกำลังลดลง ดังนั้นจึงต้องมีการเปิดเครื่องตีน้ำเพื่อเพิ่มออกซิเจนในน้ำ (ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดอำนาจเจริญ, 2556)

2.9 ไนโตรเจน (Nitrogen) ไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของสารประกอบแอมโมเนีย (NH_3) จะเป็นพิษโดยตรงต่อปลาหรือสัตว์น้ำชนิดอื่น ๆ แหล่งน้ำที่มีแอมโมเนียไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร จัดว่าเป็นน้ำที่มีความเหมาะสมในการเลี้ยงปลา แต่สำหรับสารประกอบในรูปไนไตรท์ (NO_2^-) และไนเตรท (NO_3^-) จะมีผลกระทบในทางอ้อมแก่สัตว์น้ำ ซึ่งแอมโมเนียที่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำจะอยู่ในรูปที่ไม่แตกตัว ซึ่งในการเลี้ยงสัตว์น้ำไม่ ควรมีแอมโมเนียในรูปนี้มากเกิน 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนแอมโมเนียที่อยู่ในรูปแตกตัว (NH_4^+) จะไม่มีพิษต่อสัตว์น้ำ ยกเว้นมีความเข้มข้นสูง ๆ ซึ่งส่วนใหญ่แอมโมเนียในแหล่งน้ำมักจะเกิดจากการที่ให้อาหารที่มีโปรตีนสูง มีเศษอาหารหรือของเสียที่มีผลทำให้ปริมาณแอมโมเนียในน้ำสูงขึ้นทำให้เกิดเป็นพิษ ในแหล่งน้ำ สำหรับในไตรท์เป็นสารที่เกิดจากกระบวนการ Nitrification โดยเปลี่ยนแปลงมาจากแอมโมเนียในสภาพน้ำที่มี pH ต่ำ ๆ หรือเป็นกรดจะมีปริมาณของไฮโดรเจนไอออนสูง ซึ่ง ไฮโดรเจนไอออนจะทำปฏิกิริยากับไนไตรท์ ได้กรดไนตรัส (นฤมล, 2545)

แอมโมเนีย โดยปกติเป็นพิษต่อปลาและกุ้ง โดยเฉพาะในรูปของ Unionized form หรือ NH_3, ส่วน lonized form หรือ NH_4^+, ไม่มีพิษต่อสัตว์น้ำ เว้นแต่จะมีอยู่ในปริมาณสูงมาก ๆ การแตกตัวของแอมโมเนีย ขึ้นอยู่กับค่า pH และอุณหภูมิของน้ำ ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียที่จะไม่เป็นอันตรายต่อปลาไม่ควรเกิน 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร ในรูปของ Unionized form สวนกุ้ง

ทะเลสามารถทนปริมาณแอมโมเนียได้สูงกว่าที่ 0.4-0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร และทนได้สูงกว่า 4 มิลลิกรัมต่อลิตร ในช่วงสั้นๆ หากกุ้งที่เลี้ยงในน้ำที่มีระดับแอมโมเนียและไนไตรท์สูง ๆ เป็นเวลานาน กุ้งจะเริ่มกินอาหารน้อยลง อัตราการเจริญเติบโตลดลง น้ำหนักตัวลดลงอ่อนแอและตายได้ในที่สุด (ชนินทร์, 2550)

ไนไตรท์จะไปรบกวนการแลกเปลี่ยนออกซิเจนของเม็ดเลือด ทำให้สัตว์น้ำขาดออกซิเจนได้ ถ้ามีปริมาณมากทำให้สัตว์น้ำอ่อนแอ ภูมิต้านทานโรคต่ำและติดเชื้อได้ง่าย ปริมาณแอมโมเนียรวมใน บ่อปลานิลไม่ควรเกิน 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร และไนไตรท์ไม่ควรเกิน 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร การป้องกัน โดยการควบคุมการให้อาหารไม่ให้เป็นเศษเหลือจากการกิน เปลี่ยนถ่ายน้ำและถ้ามีปริมาณของแอมโมเนียสูงมากๆ สามารถใส่เกลือแกงเพื่อลดความเป็นพิษได้ โดยใส่ในอัตรา 200-250 กิโลกรัมต่อไร่ ทุก 1-2 สัปดาห์ (ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดอำนาจเจริญ, 2556)

ไนไตรท์โดยปกติมีพิษต่อสัตว์น้ำได้เช่นเดียวกับแอมโมเนีย แต่มักจะเกิดขึ้นในปริมาณไม่มาก นักในแหลงน้ำธรรมชาติ เว้นแต่ในบ่อเลี้ยงปลาที่มีการให้อาหารที่มีโปรตีนสูงดังกล่าวมาแล้วเพราะไนไตรท์จะเกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาระหว่างกลาง ซึ่งจะถูกแบคทีเรียทำการเปลี่ยนรูปไปเป็นไนเตรท ซึ่งไม่มี พิษต่อปลา (ชนินทร์, 2550)

ไนเตรทเป็นตัวสำคัญในการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชและพืชน้ำ ซึ่งแพลงก์ตอน พืช ใช้ไนเตรทในการสร้างโปรตีน ทางด้านประมงไม่ถือว่าไนเตรทเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ นอกจากมี ปริมาณของความเข้มข้นสูงมาก ๆ แต่จะทำให้เกิดปัญหาทางอ้อมในกรณีที่ไนเตรทได้เปลี่ยนสภาพมาจากไนไตรท์และแอมโมเนีย (นฤมล, 2545)

2.10 ฟอสฟอรัส (Phosphorus) ฟอสฟอรัส หรือฟอสเฟต เป็นธาตุที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชน้ำ หากในแหล่ง น้ำมีปริมาณของฟอสเฟตในปริมาณมาก เราเรียกแหล่งน้ำนั้นว่า Eutrophic take ซึ่งมีผลทำให้พืชน้ำมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว จึงทำให้ขาดออกซิเจนในเวลากลางคืน หรือหากมีการตายและเน่าสลายของพืชน้ำในเวลาเดียวกันอย่างรวดเร็ว ทำให้แหล่งน้ำเกิดสภาพที่ขาดออกซิเจนอย่างรุนแรงได้ สำหรับแหล่งที่มาของฟอสเฟต เช่น จากการชะล้างโดยน้ำฝน น้ำทิ้งจากโรงงาน อุตสาหกรรม น้ำทิ้งจากการใช้ผงซักฟอก จากปุ๋ยที่ใช้เพื่อการเกษตร จากซากพืชซากสัตว์ที่ตายและเน่าเปื่อย หรือได้จากการเติมปุ๋ยลงไปในบ่อปลาเพื่อเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ เป็นต้น ในแหล่งน้ำที่มี pH 6.3-6.9 จะเป็นช่วงที่มีอินทรีย์ฟอสเฟตอยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากที่สุด แต่ถ้า pH สูงกว่านี้จะพบฟอสเฟตในปริมาณน้อย เพราะมีการตกตะกอนของฟอสเฟตอยู่ในรูปที่พืชสามารถ นำไปใช้ประโยชน์ได้มากที่สุด pH สูงกว่านี้จะพบฟอสเฟตในปริมาณน้อยเพราะมีการตกตะกอนของฟอสเฟตลงสู่พื้นบ่อ (นฤมล, 2545) ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืช ทำให้พืชน้ำเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว หากมีปริมาณมากเกินไปจะทำให้ออกซิเจนในน้ำ

มากเกินไปก่อให้เกิดภาวะขาดออกซิเจนได้ ดังนั้นในบ่อปลานิลไม่ควรมีปริมาณของฟอสฟอรัสสูงกว่า 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร (ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดอำนาจเจริญ, 2556)

3. ลักษณะทางชีวภาพ หมายถึง ดัชนีคุณภาพน้ำที่ผันแปรเนื่องจากสิ่งมีชีวิตในน้ำซึ่งสามารถสร้างผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำทั้งทางตรงและอ้อม เช่น แพลงก์ตอนพืชและสัตว์ (Plankton) แบคทีเรีย (Bacteria) พืชน้ำ (Aquatic macrophytes) เชื้อโรค (Pathogens) (ชนินทร์, 2550)

3.1 แพลงก์ตอน คือสิ่งมีชีวิตซึ่งล่องลอยอยู่ในมวลน้ำ แพลงก์ตอนส่วนใหญ่มีขนาดเล็กมีขนาดตั้งแต่ดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอนจนถึงเห็นได้ด้วยตาเปล่า แพลงก์ตอนประกอบไปด้วยสิ่งมีชีวิตหลายกลุ่ม แต่ทุกกลุ่มจะมีลักษณะเหมือนกันประการหนึ่งก็คือ ไม่มีรยางค์หรือส่วนที่ช่วยเคลื่อนที่ แม้ว่าแพลงก์ตอนบางกลุ่มเคลื่อนที่ได้ก็เป็นการเคลื่อนที่อย่างช้า ๆ และยังต้องอาศัยคลื่นน้ำช่วยในการเคลื่อนที่ สามารถแบ่งเป็นแพลงก์ตอนพืชและสัตว์

3.2 เชื้อรา เชื้อราจัดเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีผลทำให้สัตว์น้ำเกิดโรคได้ ราเป็นสิ่งมีชีวิตที่ไม่จัดว่าเป็นพืช เนื่องจากไม่สามารถสังเคราะห์แสงเองได้ เพราะไม่มีคลอโรฟิลด์ ราสามารถเจริญได้ทั้งในน้ำและบน ดิน ดำรงชีวิตได้ด้วยการใช้พลังงานจากขบวนการหายใจ หรือการหมักสลายของสารอินทรีย์ที่ละลายในธรรมชาติ เชื้อราบางชนิดดำรงชีวิตแบบปรสิต อยู่บนพืชหรือสัตว์อื่น ซึ่งเชื้อราในรูปแบบนี้จะเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ

3.3 แบคทีเรีย แบคทีเรียเป็นสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว มีรูปร่างแตกต่างกันออกไป เช่น เป็นแท่ง (Rod) กลม (Coccus) หรือเป็นเกลียว (Spiral) แบคทีเรียบางชนิดจะมีประโยชน์ โดยจะช่วยย่อยสลายอินทรีย์สารทั้งชนิดละลายน้ำและไม่ละลายน้ำ สามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศและช่วยเปลี่ยนสภาวะของ ไนโตรเจนให้เกิดความสมดุลทางธรรมชาติ แต่แบคทีเรียบางชนิดสามารถทำให้สัตว์น้ำเกิดโรคได้ และยังมีผลทำให้เกิดสภาวะการขาดแคลนออกซิเจนในบ่อเลี้ยงปลา (นฤมล, 2545)

แพลงก์ตอน

แพลงก์ตอน (Plankton) คือสิ่งมีชีวิตซึ่งล่องลอยอยู่ในมวลน้ำ แพลงก์ตอนส่วนใหญ่มีขนาดเล็กมีขนาดตั้งแต่ดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอนจนถึงเห็นได้ด้วยตาเปล่า (จงกล, 2560)แพลงก์ตอนเป็นคำที่มาจากภาษากรีก ซึ่งแปลว่า Drifting หรือ Wanderer มีความหมายว่า "ผู้พเนจร" หรือ "ล่องลอย" แพลงก์ตอนจึงหมายถึงสิ่งมีชีวิตที่ล่องลอยอยู่ในมวลน้ำ สุดแต่คลื่นลมจะพัดพาไป แพลงก์ตอนมีทั้งขนาดที่เล็กมากจนมองไม่เห็นได้ด้วยตาเปล่า แต่มีแพลงก์ตอนหลายชนิดที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า แต่ไม่สามารถแยกชนิดหรือรู้จักว่าเป็นอะไร จนกว่าจะส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์และหลายชนิดที่มีขนาดใหญ่มากจนสามารถแยกชนิดได้ (ลัดดา, 2543ก) แพลงก์ตอนเป็นสิ่งมีชีวิตอีกกลุ่ม

หนึ่งที่มีความหลากหลายทางด้านจำนวนชนิดที่สูงมาก นอกจากนี้จะสังเกตเห็นว่าแพลงก์ตอนที่เราพบจากแหล่งน้ำแต่ละแหล่งก็จะมีองค์ประกอบของชนิดและปริมาณแตกต่างกันไป เช่น องค์ประกอบของชนิดและปริมาณแพลงก์ตอนในน้ำจืดก็จะไม่เหมือนกับในน้ำทะเลและองค์ประกอบของชนิดแพลงก์ตอนในน้ำที่มีคุณภาพดีก็จะไม่เหมือนกับที่เราพบในน้ำเสีย เป็นต้น ซึ่งความแตกต่างนี้เกิดขึ้นเนื่องจากแพลงก์ตอนแต่ละชนิดมีความต้องการอาหารและสามารถเติบโตได้ในสิ่งแวดล้อมที่ไม่เหมือนกัน (สุปิยนิตย์, 2550)

แพลงก์ตอนแบ่งออกได้เป็นสองกลุ่ม คือแพลงก์ตอนพืชและแพลงก์ตอนสัตว์ ซึ่งทั้งสองกลุ่มมีส่วนสำคัญในการเป็นแหล่งอาหารของสัตว์น้ำชนิดอื่น ๆ ในแหล่งน้ำ โดยที่แพลงก์ตอนพืชมีบทบาทหลักในการเป็นผู้ผลิตเบื้องต้น (Primary producer) ของห่วงโซ่อาหารและเป็นอาหารของแพลงก์ตอนสัตว์ จากนั้นแพลงก์ตอนสัตว์ก็จะถูกกินด้วยสัตว์น้ำวัยอ่อน ตามด้วยสัตว์น้ำอื่น ๆ ต่อกันไปเรื่อย ๆ ชนิดและปริมาณของแพลงก์ตอนพืชเป็นตัวกำหนดชนิดและปริมาณของแพลงก์ตอนสัตว์จนสิ้นสุดห่วงโซ่อาหาร ดังนั้นปัจจัยสิ่งแวดล้อมทุกด้านจึงมีความสำคัญในการกำหนดชนิดและปริมาณของแพลงก์ตอนพืช (สุปิยนิตย์, 2550)

การแบ่งประเภทของแพลงก์ตอน

การแบ่งตามขนาด

แพลงก์ตอนส่วนใหญ่มีขนาดเล็ก กลุ่มที่มีขนาดเล็กที่สุด เรียกว่า พิโคแพลงก์ตอน ซึ่งมีขนาดตั้งแต่ 0.2–2 ไมโครเมตร (ไมโครเมตร = 1/1000 มิลลิเมตร) ขนาดจิ๋ว มีขนาด 2–20 ไมโครเมตร เรียกว่า กลุ่มนาโนแพลงก์ตอน (Nanoplankton) แพลงก์ตอนขนาดเล็กมีขนาด 20-60 ไมโครเมตร เรียกว่ากลุ่มไมโครแพลงก์ตอน (Microplankton) แพลงก์ตอนขนาดกลาง เรียกว่ากลุ่มเมโรแพลงก์ตอน (Mesoplankton) มีขนาด 60-200 ไมโครเมตร แพลงก์ตอนขนาดใหญ่ (Macroplankton) มีขนาด 200 ไมโครเมตร – 1 มิลลิเมตร และแพลงก์ตอนขนาดยักษ์ (Megaloplankton) มีขนาดใหญ่กว่า 1 ม.ม. ขึ้นไป (ศูนย์วิจัยและพัฒนาชายฝั่งตรัง, 2556)

การแบ่งตามประเภทของการกินอาหาร

เมื่อพิจารณาถึงลักษณะการกินอาหาร เราสามารถแบ่งแพลงก์ตอนได้ 2 ประเภท คือ

แพลงก์ตอนพืช (Phytoplankton)

แพลงก์ตอนพืช เป็นสิ่งมีชีวิตที่ล่องลอยอยู่ในน้ำ สุดแต่คลื่นลมและกระแสน้ำจะพัดพาไป แพลงก์ตอนพืชมีบทบาทที่สำคัญอย่างยิ่งต่อระบบนิเวศของแหล่งน้ำ โดยใช้พลังงานจากแสงแดดหรือพลังงานจากแหล่งอื่นเพื่อผลิตอาหารในรูปของโปรตีน คาร์โบไฮเดรต เป็นต้น ดังนั้นชนิดและปริมาณ

ความหลากหลายของรูปร่างลักษณะการแพร่กระจายของแพลงก์ตอนพืชจึงมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับระบบนิเวศ (ลัดดา, 2542)

แพลงก์ตอนพืช ต้องการธาตุอาหารเพื่อการเจริญเติบโตและหากมีธาตุอาหารปริมาณที่เหมาะสม แพลงก์ตอนพืชก็จะเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว แพลงก์ตอนพืชบางชนิดเติบโตได้ดีในแหล่งน้ำที่มีปริมาณธาตุอาหารสูง บางชนิดเติบโตได้ดีในน้ำที่มีปริมาณธาตุอาหารน้อย นอกจากปัจจัยเรื่องธาตุอาหารแล้ว ปัจจัยอย่างอื่น เช่น อุณหภูมิ ความลึก ภูมิอากาศ ฯลฯ รวมทั้งปัจจัยทางชีวภาพ ซึ่งได้แก่ พืชน้ำ และสัตว์น้ำอื่น ๆ ต่างก็มีความสัมพันธ์กับแพลงก์ตอนทั้งสิ้น (ลัดดา, 2543ข)

แพลงก์ตอนสัตว์ ((Zooplankton)

แพลงก์ตอนสัตว์เป็นกลุ่มสิ่งมีชีวิตที่ไม่สามารถสร้างอาหารเองได้ จึงถือเป็นผู้บริโภคลำดับที่หนึ่ง หรือเป็นผู้ผลิตลำดับที่สองต่อจากแพลงก์ตอนพืช แพลงก์ตอนสัตว์มีทั้งประเภทที่เป็นแพลงก์ตอนถาวรตลอดชีวิต เช่น แมงกะพรุน หรือเป็นแพลงก์ตอนชั่วคราวซึ่งล่องลอยในน้ำเพียงช่วงใดช่วงหนึ่งของชีวิตเท่านั้น ได้แก่ ตัวอ่อนของสัตว์น้ำ แพลงก์ตอนสัตว์ถือเป็นอาหารที่สำคัญของสัตว์น้ำ ทำให้ห่วงโซ่อาหารในระบบนิเวศมีความสมบูรณ์ รวมทั้งมนุษย์ก็บริโภคโดยตรงด้วย เช่น กะปิเคย เป็นต้น (ลัดดา, 2543)

แพลงก์ตอนสัตว์ส่วนใหญ่ประกอบด้วยสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง กลุ่มที่ใช้เวลาทั้งหมด ในชีวิตล่องลอยอยู่ในน้ำ มีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า แพลงก์ตอนถาวร หรือโฮโลแพลงก์ตอน (Holoplankton) ส่วนแพลงก์ตอนสัตว์ที่ประกอบด้วยสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังที่ใช้เวลาช่วงหนึ่ง ของชีวิตล่องลอยอยู่ในน้ำ มีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า แพลงก์ตอนชั่วคราว หรือเมโรแพลงก์ตอน (Meroplankton) (สุปิยนิตย์, 2550)

ประโยชน์ของแพลงก์ตอน

แพลงก์ตอนพืช มีประโยชน์ดังนี้

1. แพลงก์ตอนพืชเป็นผู้ผลิตขั้นปฐมภูมิ (Primary producer) ของห่วงโซ่อาหารในธรรมชาติ
2. เป็นอาหารของสัตว์น้ำในธรรมขาติและในการอนุบาลสัตว์น้ำวัยอ่อน
3. ใช้เป็นอาหารโดยตรง เช่น *Spirulina* ในประเทศแถบทวีปอาฟริกา *Nostoc* ใช้เป็นอาหารของคนในประเทศจีน โดยเชื่อว่าอุดมไปด้วยแร่ธาตุและวิตามินมากมายและปัจจุบันได้ใช้เป็นอาหารของมนุษย์อวกาศขณะเดินทางไปในอวกาศ หากเป็นการเดินทางช่วงสั้นสาหร่ายจะถูกนำขึ้นไปในลักษณะของอาหารเม็ด หากเป็นการเดินทางไกลใช้วิธีการลี้ยงสาหร่ายแบบครบวงจรในกระสวยอวกาศ อาหารที่เลี้ยงสาหร่าย ได้แก่ สิ่งขับถ่ายจากมนุษย์อวกาศ (ยูเรีย) ขณะที่สาหร่ายสังเคราะห์แสงก็จะผลิตออกซิเจนสำหรับการหายใจ ระหว่างกระบวนการสังเคราะห์แสงสาหร่ายได้ใช้คาร์บอนไดออกไซด์ จากการหายใจของมนุษย์ ซึ่งกระบวนการนี้เป็นการหมุนเวียนนำเอาของเสียจาก

การดำรงชีวิตของมนุษย์กลับมาใช้ประโยชน์สำหรับการผลิตสาหร่ายเพื่อเป็นอาหาร นับว่าเป็นกระบวนการที่ชาญฉลาดและมีประสิทธิภาพอย่างยิ่ง

4. ใช้ในการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์พื้นฐาน เช่น ใช้ *Chlorella* เพื่อศึกษาสรีรวิทยาและชีวเคมี โดยการศึกษาการสังเคราะห์แสงของเซลล์ เนื่องจาก เป็นสาหร่ายเซลล์เดียวที่เลี้ยงง่ายเติบโตเร็ว นอกจาก *Chlorella* แล้วยังใช้ *Euglena, Chalmydomonas, Volvox* ในการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์ เพราะสามารถเติบโตได้ดีทั้งในที่มีแสงสว่างและในที่มืดด้วยเหตุที่สาหร่ายทั้ง 3 สกุลมีวิธีการ สืบพันธุ์มีทั้งที่มีเพศและไม่มีเพศ จึงมีประโยชน์ใน การศึกษาด้านพันธุกรรม นอกจากนี้ยังนำสาหร่ายเซลล์เดี่ยวหลายสกุลศึกษา Bioregulatory system สำหรับการเดินทางในอวกาศ

5. มีประโยชน์ด้านอุตสาหกรรม โดยการสกัดผลิตภัณฑ์ที่มีประโยชน์ทางยา เช่น เบตาแคโรทีนจากสาหร่ายเกลียวทองและสาหร่ายสีเขียวบางชนิด เช่น *Dunaliella* หรือ *Botryococcus* แอสทาแซนธินจากสาหร่ายสีเขียวสกุล *Haematococcus* กลีเซรอลจาก *Dunaliella* เป็นต้น ไดอะตอมไมท์ (*Diatomite*) เป็นฟิลเตอร์ในอุตสาหกรรมด้านต่าง ๆ (จงกล, 2560)

ประโยชน์ของแพลงก์ตอนสัตว์ ดังนี้

1. เป็นอาหารของสัตว์น้ำและมนุษย์แพลงก์ตอนสัตว์ ที่ใช้เป็นอาหารของสัตว์น้ำ มีมากมาย ได้แก่ พวกที่ใช้เป็นอาหารของลูกสัตว์น้ำเช่น โคพีพอด ไรน้ำ (*Cladocerans*) โรติเฟอร์ กลุ่มที่เป็นอาหารของสัตว์น้ำ ที่สำคัญได้แก่ พวก *Mysids, Eeuphausids, Hyperiids* บางชนิด แพลงก์ตอนหอย (*mollusks*) และ ทูนิเขต (tunicates) บางชนิดโดยเฉพาะพวกยูฟอร์สิด (*Euphausids*) นับว่าเป็นอาหารที่สำคัญ เนื่องจากมีโปรตีนสูงถึง 79% ของน้ำหนักแห้ง มหาสมุทรบางแห่งมีปริมาณยูฟอร์สิดจำนวนมหาศาล เช่น มหาสมุทร Antarctic มีปริมาณ ยูฟอร์สิดชนิด *Euphausia superba* ประมาณกันว่าตั้งแต่ 600-7,000 ล้านตัน ในประเทศ ญี่ปุ่นสามารถจับยูฟอร์สิดได้ถึงปีละ 2,000-10,000 ตัน ยูฟอร์สิดหรือ Krill เป็นอาหารที่สำคัญ ของปลาวาฬหลายชนิด เนื่องจากมีปริมาณมากมาย และอาศัยอยู่ในทะเลแถบหนา;

2. เป็นตัวชี้ (Indicator) ของกระแสน้ำในมหาสมุทร แหล่งน้ำมันและแหล่งทำการประมง

3. เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรม

4. เป็นประโยชน์ในการวิจัยวิทยาการสาขาต่าง ๆ (จงกล, 2560)

ต้นทุนการผลิต (อนุรักษ์, 2558)

การแข่งขันที่สูงและรุนแรงในสภาพการตลาดในปัจจุบัน ส่งผลให้ทุกองค์กรมีการดำเนินกิจกรรมต่างเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการแข่งขัน ในอุตสาหกรรมการผลิตก็เช่นเดียวกัน คู่แข่งที่นับวันจะมากขึ้นทุกวันต่างงัดกลยุทธ์ออกมาต่อสู้กัน ที่เห็นจะมากที่สุดก็คงจะเป็นเรื่องของราคาขายที่ถูกกว่า ซึ่งเป็นการตอบสนองที่ตรงกับความต้องการของลูกค้าที่ต้องการสินค้าที่มีราคาถูก แต่การที่จะมามาซึ่งสินค้าที่มีราคาถูกนั้น องค์ประกอบหลักของทางผู้ผลิตคือ ต้นทุนการผลิต ที่ต้องทำให้ต่ำที่สุดโดยที่คุณภาพและคุณค่าในการใช้งานยังคงอยู่ภายใต้การยอมรับของลูกค้า

ความหมายของต้นทุนการผลิต

ต้นทุน (Cost) หมายถึง ค่าใช้จ่ายในการดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ ต้นทุนการผลิต (Production cost) หมายถึง ค่าใช้จ่ายในการดำเนินกิจกรรมทางการผลิตเพื่อให้ได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ดี มีคุณภาพตามความต้องการของลูกค้า

องค์ประกอบของต้นทุนการผลิต

1. ต้นทุนด้านวัสดุ (Material cost) เป็นค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับวัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือ ที่ใช้ในการผลิตทั้งทางตรงและทางอ้อม ดังนี้

1.1 วัสดุทางตรง (Direct material cost) คือ วัสดุหรือวัตถุดิบที่ใช้เพื่อการผลิตโดยตรง โดยส่วนมากมักจะเป็นส่วนประกอบหนึ่งของผลิตภัณฑ์ เช่น ยางรถยนต์มียางเป็นวัตถุดิบทางตรง, ปากกา มี พลาสติกและหมึกเป็นวัตถุดิบทางตรง เป็นต้น จำนวนในการใช้งานวัสดุ/วัตถุดิบทางตรงนี้จะแปรผันกับหน่วยในการผลิตโดยตรง

1.2 วัสดุทางอ้อม (Indirect material cost) เช่น วัสดุ เครื่องมือ อุปกรณ์ ที่ใช้สนับสนุนในการผลิตโดยส่วนมากจะไม่แปรผันกับปริมาณการผลิตโดยตรง เช่น กระดาษทราย ผ้าเช็ดมือ กาว ตะปู เป็นต้น ในบางครั้งวัสดุทางอ้อมก็อาจถูกจัดให้อยู่ในหมวดหมู่ของวัสดุทางตรงก็เป็นได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับนโยบายทางการบัญชีของแต่ละองค์กร เช่น มีดกลึงสำหรับเครื่องจักรซีเอ็นซี ซึ่งเป็นวัตถุดิบทางอ้อมสามารถถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มของวัตถุดิบทางตรงก็ได้ อาจเนื่องจากเหตุผลด้านราคาที่สูงและสามารถคำนวณอายุการใช้งานต่อจำนวนชิ้นงานที่ทำการผลิตได้ (Tool life) ถึงแม้ว่ามีดกลึงจะไม่ได้ถูกประกอบไปกับชิ้นงานก็ตาม

2. ต้นทุนด้านแรงงาน (Labor cost) เป็นค่าใช้จ่ายด้านแรงงานในการทำงานและผลิตสินสินค้าเพื่อให้เกิดผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป สามารถแบ่งออกได้คล้าย ๆ กับต้นทุนวัตถุ คือค่าใช้จ่ายด้านแรงงานทางตรง และค่าจ่ายด้านแรงงานทางอ้อม ดังนี้

2.1 ค่าใช้จ่ายด้านแรงงานทางตรง (Direct labor cost) เช่น ค่าจ้างรายวัน/เงินเดือนของพนักงานฝ่ายผลิต, ซึ่งจะแปรผันกับปริมาณการผลิตโดยตรง

2.2 ค่าใช้จ่ายด้านแรงงานทางอ้อม (Indirect labor cost) เช่น เงินเดือนของพนักงานขาย, เงินเดือนของผู้จัดการ, เงินดือนของวิศวกร ค่าใช้จ่ายเหล่านี้จะไม่แปรผันกับปริมาณในการผลิตโดยตรง

3. ค่าใช้จ่ายโรงงานหรือค่าโสหุ้ยในการผลิต (Overhead cost) เป็นค่าใช้จ่ายที่นอกเหนือจากจากค่าใช้จ่ายของวัสดุและค่าใช้จ่ายด้านแรงงาน เช่น ค่าสาธารณูปโภค ค่าเช่าโรงงาน ค่าบำรุงรักษาเครื่องจักร สวัสดิการต่าง ๆ เป็นต้น

การคำนวณต้นทุนการผลิต

ต้นทุนการผลิต สามารถคำนวณได้ดังนี้ ต้นทุนการผลิต = ต้นทุนวัสดุ + ต้นทุนแรงงาน + ค่าโสหุ้ย

การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต

การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต เป็นสิ่งจำเป็นอย่างมาก เป็นการรวบรวม แจกแจง วิเคราะห์และรายงานค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในส่วนของต้นทุนต่าง ๆ ของการผลิตเพื่อประโยชน์ต่อการบริหารงานและการดำเนินนโยบายของฝ่ายบริหาร

มาตรฐานการเลี้ยงสัตว์น้ำจืดอินทรีย์

หลักการและเหตุผล (กรมประมง, 2551)

ปัจจุบันผู้บริโภคใส่ใจในความปลอดภัย ของอาหารมากขึ้น ทำให้ปริมาณการซื้อขายอาหารปลอดภัยสูงขึ้นตามไปด้วย สัตว์น้ำจืดอินทรีย์ น่าจะเป็นที่ต้องการต่อผู้บริโภคเนื่องจากมีความปลอดภัย สอดคล้องกับแนวเศรษฐกิจพอเพียงของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว หลายพื้นที่การเลี้ยงสามารถปรับเข้าสู่มาตรฐานการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอินทรีย์ได้ แต่ยังมีการปฏิบัติอีกหลายประการที่ผู้ผลิตไม่ทราบว่าขัดกับหลักการของเกษตรอินทรีย์สากล เพื่อเป็นการยกมาตรฐานการผลิตให้สูงขึ้น ผลผลิตปลอดภัยต่อผู้บริโภคและรักษาสภาพแวดล้อม กรมประมงจึงจัดทำ มาตรฐานการเลี้ยงสัตว์น้ำจืดอินทรีย์เป็นมาตรฐานเฉพาะ ซึ่งในอนาคตจะได้มีการออกใบรับรองมาตรฐานการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอินทรีย์ และส่งเสริมให้ราคาผลผลิตสูงกว่าที่ได้จากการเลี้ยงโดยทั่วไป

ขอบข่าย

ครอบคลุมทุกขั้นตอนการผลิตของการเลี้ยงสัตว์น้ำจืดรูปแบบต่าง ๆ ทั้งแหล่งน้ำปิดและเปิด

บทนิยาม

สัตว์น้ำจืดอินทรีย์หมายถึง สัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์จากสัตว์น้ำจืดที่ได้จากการเพาะเลี้ยง โดยใช้ปัจจัยการผลิตที่ได้จากธรรมชาติไม่รวมกุ้งก้ามกราม การทำฟาร์มแบบอุตสาหกรรม หมายถึงอาศัยยาสำหรับการรักษาสุขภาพสัตว์และอาหารสัตว์อย่างมาก

การปรับเปลี่ยนเป็นการผลิตระบบอินทรีย์

ระยะเวลาในการปรับเปลี่ยนไม่ต่ำกว่า 1 รอบการผลิต ต้องเข้าใจหลักการของระบบอย่างดียิ่ง โดยเฉพาะเรื่องปัจจัยการผลิตและการบันทึกข้อมูล ซึ่งเจ้าของฟาร์มต้องเตรียมตัวดังนี้

1. ติดตามข่าวสารการตลาด
2. ศึกษาระบบการผลิตวิธีการปฏิบัติในฟาร์มให้เข้าใจทุกขั้นตอน
3. ปฏิบัติตามมาตรฐานอย่างแน่วแน่ไม่กลับไปสู่การเลี้ยงแบบทั่วไป
4. ผ่านการอบรมวิธีการผลิตการบันทึกข้อมูล

การเลือกสถานที่

เป็นปัจจัยแรกที่สำคัญ มีข้อกำหนดเพิ่มเติมจากการเลี้ยงโดยทั่วไป

1. มีกรรมสิทธิ์ถูกต้องตามกฎหมาย
2. ห่างจากโรงงานที่ตั้งอยู่เหนือน้ำมากกว่า 100 เมตร
3. ห่างจากฟาร์มเกษตรเคมีมากกว่า 5 เมตร
4. น้ำที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงต้องมาจากแหล่งน้ำสะอาด ไม่มีสารพิษปนเปื้อน

การจัดการฟาร์ม

การจัดการที่ดีจะป้องกันปัญหา สามารถรักษาความหลากหลายทางชีวภาพ

1. วางแผนป้องกันสารปนเปื้อน อย่างครบถ้วน บันทึกวิธีการปฏิบัติอย่างต่อเนื่อง
2. มุ้งเน้นการใช้สารอินทรีย์ วัสดุธรรมชาติเป็นหลักปราศจากวัสดุต้องห้าม
3. ตรวจสอบรายชื่อสารต้องห้ามก่อนนำมาใช้ จากผนวกของมาตรฐานฯ

การคัดเลือกพันธุ์สัตว์น้ำ

ยินยอมให้ใช้พันธุ์จากโรงเพาะทั่วไป ได้จนกว่าจะมีโรงเพาะ ที่ได้การรับรองมาตรฐานการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอินทรีย์

1. มีความสามารถปรับตัวเข้ากับสภาพท้องถิ่นได้ดี ต้านทานโรคได้ดี
2. พันธุ์สัตว์น้ำมาจากการผสมพันธุ์ตามธรรมชาติ
3. ห้ามใช้พันธุ์ที่ได้จากการดัดแปรพันธุกรรม
4. ห้ามใช้ฮอร์โมนสังเคราะห์
5. ห้ามใช้พันธุ์สัตว์น้ำแปลงเพศ

อาหารสัตว์น้ำ

เป็นอาหารที่ผลิตจากวัตถุดิบอินทรีย์ ควรทำอาหารใช้เองเนื่องจากถั่วเหลืองในประเทศไม่ดัดแปรพันธุกรรม แต่อาหารสำเร็จรูปทั่วไปใช้กากถั่วเหลืองที่ผ่านการแปรพันธุกรรมจึงไม่ได้การรับรองมาตรฐานอินทรีย์

1. วัตถุดิบอาหารที่นำเข้าจากภายนอกฟาร์มอย่างน้อย 50% ของแหล่งโปรตีนต้องมาจากผลพลอยได้จากกระบวนการผลิต

2. เลือกใช้วัตถุดิบที่ใช้เป็นส่วนประกอบอาหารให้สอดคล้องกับมาตรฐาน

3. ห้ามสร้างคอกสัตว์กลางบ่อหนึ่งบนคันบ่อ

4. ห้ามใช้มูลสัตว์ที่ทิ้งไว้ไม่ถึง 60 วันในกิจกรรมการเลี้ยง

5. ห้ามใช้สารสังเคราะห์เพื่อเร่งการเติบโตและกระตุ้นการกินอาหาร

6. ห้ามใช้สารเคมีหรือวัตถุสังเคราะห์อื่น ๆ ซึ่งห้ามใช้ในสัตว์น้ำที่ประกาศตาม พ.ร.บ. ควบคุมคุณภาพอาหารสัตว์ พ.ศ. 2558

สุขภาพสัตว์น้ำ

การเจริญเติบโตและอัตรารอดที่ดีขึ้นอยู่กับสุขภาพของสัตว์น้ำ ซึ่งเกี่ยวข้องกับระบบการจัดการในหลาย ๆ ด้าน เช่น อัตราการปล่อย การให้อาหาร ฯลฯ การเลี้ยงสัตว์น้ำจืดอินทรีย์ไม่สามารถใช้ยา สารเคมี เหมือนกับการเลี้ยงโดยทั่วไป จึงต้องมีข้อกำหนดการดูแลสุขภาพ ดังนี้

1. ก่อนการเลี้ยง ต้องทำความสะอาดพื้นบ่อโดยการตากบ่อให้แห้ง

2. ป้องกัน ควบคุมโรคสัตว์น้ำ โดยการควบคุมคุณภาพน้ำ การให้อาหาร

3. มีแผนการเฝ้าระวังโรค แยกสัตว์น้ำที่เป็นโรคออกจากบ่อ ใช้จุลินทรีย์

4. ควบคุมสภาพแวดล้อมรอบ ๆ บ่อเลี้ยง กำจัดวัชพืช หอยต่าง ๆ ด้วยวิธีทางกายภาพ

น้ำทิ้งและของเสีย

การจัดการที่ดี จะช่วยให้น้ำทิ้งมีคุณภาพดีและลดปริมาณน้ำทิ้ง

1. บำรุงรักษาคลองและคันบ่อเพื่อลดการกัดเซาะและป้องกันตะกอนดอนเน่าเสีย

2. ใช้ระบบปิด ระบบหมุนเวียน เพื่อลดปริมาณน้ำทิ้ง

3. ตะกอนที่เกิดขึ้น นำไปถม หรือทิ้งในที่ปลอดภัย

4. ทิ้ง กำจัดขยะอย่างถูกวิธี

การรักษาความสดของสัตว์น้ำ

1. ใช้เครื่องมือจับที่เหมาะสม ทำให้ตายโดยเร็วที่สุด

2. กรณีขายสัตว์น้ำมีชีวิตต้องดูแลให้มีสภาพแวดล้อมเหมาะสม

3. สารที่ใช้ในกระบวนการหลังการจับ ต้องเป็นสารธรรมชาติ

4. การบรรจุหีบห่อใช้เครื่องมือที่ไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม สะอาด

5. ภาชนะบรรจุต้องเป็นฉนวน สะดวกต่อการขนส่ง น้ำ น้ำแข็งต้องสะอาด

6. บุคลากรต้องปฏิบัติอย่างถูกสุขวิธี

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วรรัตน์ (2552) งานวิจัยการศึกษาการเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบปิดโดยนำแนวคิดของระบบเทคโนโลยีไบโอฟลอคมาใช้ ผลการทดลองจากพบว่า แป้งมันสามารถทดแทนกลูโคสในการสร้างไบโอฟลอค และการเพิ่มแร่ธาตุที่จำเป็นจากอาหารกุ้ง ยังช่วยกระตุ้นการสร้างไบโอฟลอคให้ดีขึ้น นอกจากนี้การใช้น้ำบ่อที่มีไบโอฟลอคตามธรรมชาติจะสามารถควบคุมคุณภาพน้ำได้ดีกว่าการใช้ประปา และการเพาะเลี้ยงปลานิลควบคู่กันพบว่า การเติมแป้งมันและอาหารปลานิลทุกวันลงในถังเพาะเลี้ยงในอัตราส่วน **C:N = 16:1** จะสามารถควบคุมปริมาณแอมโมเนียและไนไตรท์ได้ดีกว่าชุดควบคุมที่เติมอาหารปลาอย่างเดียว

สุทธิพงศ์ และคณะ (2556) ศึกษาอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในการเลี้ยงกุ้งขาวร่วมกับปลานิลด้วยเทคโนโลยีไบโอฟลอค ผลการวิจัยพบว่า การทดลองเลี้ยงกุ้งขาวและปลานิลแบบผสมผสานด้วยเทคโนโลยีไบโอฟลอคในระบบน้ำหมุนเวียนแบบปิด ชุดการทดลองที่ 1 (ชุดควบคุม) ไม่มีการเติมแหล่งอินทรีย์คาร์บอน ชุดการทดลองที่ 2 และ 3 เติมแหล่งอินทรีย์คาร์บอนที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio) 16:1 และ 20:1 ตามลำดับ ให้อาหารเฉพาะกุ้งขาวด้วยอาหารสำเร็จรูปเป็นเวลา 100 วัน พบว่า อัตราการเจริญเติบโตและผลผลิตรวม ของกุ้งขาว และปลานิล ในชุดการทดลองที่มีการเติมแหล่งอินทรีย์คาร์บอนสูงกว่าชุดควบคุม ($P<0.05$) ส่วนอัตราการรอดตายไม่แตกต่างกัน ชุดการทดลองที่เติมแหล่งอินทรีย์คาร์บอน (ชุดการทดลองที่ 2 และ 3) มีปริมาณแอมโมเนีย (TAN) ตะกอนแขวนลอยทั้งหมด (TSS) และอินทรีย์สารแขวนลอย (POM) เพิ่มขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

อานุภาพ และคณะ (2556) ค้นหาแหล่งคาร์บอนที่เหมาะสมในการผลิตไบโอฟลอคในบ่อเลี้ยงปลานิล (*Oreochromis niloticus*, L.) และปลาดุกบิ๊กอุย (*Clarias gariepinus* x *Clarias macrocephalus*) พบว่า การเติมแหล่งคาร์บอนเสริมกับกากน้ำตาลทั้งรำละเอียด ขนมปังป่น และข้าวโพดป่น ไม่มีผลต่ออัตราการรอด การเจริญเติบโต อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อและอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของปลานิล และปลาดุกบิ๊กอุย แต่จะมีผลต่อตะกอนแขวนลอยรวม (TSS) หรือไบโอฟลอคของบ่อปลาดุกบิ๊กอุยมากกว่าบ่อเลี้ยงปลานิล

มะลิวัลย์ และคณะ (2559) ได้ทดลองสร้างไบโอฟลอคจากจุลินทรีย์ธรรมชาติ ไบโอฟลอคเป็นกลุ่มตะกอนจุลินทรีย์ที่มีบทบาทในการบำบัดไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยการเติมสารอินทรีย์คาร์บอน นอกจากนี้ยังได้ทดลองสร้างไบโอฟลอคโดยการผสมกับสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน

Spirulina platensis ในการทดลองมีการเติมคาร์บอนและไนโตรเจนสัดส่วน 16:1 เป็นประจำทุกวัน นาน 42 วัน พบว่าไบโอฟลอคทั้ง 2 ชนิด มีขนาดและชนิดของจุลินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบคล้ายคลึงกันและระหว่างการบ่มไบโอฟลอคพบว่ามีการบำบัดแอมโมเนียด้วยกระบวนไนโตรเจนแอสซิมิเลชัน จากนั้นได้ทดลองแปรผันปริมาตรไบโอฟลอคเป็น 0, 20, 40 และ 80 มิลลิลิตรต่อลิตร เพื่อตรวจวัดอัตราการบำบัดแอมโมเนีย พบว่าไบโอฟลอคที่สร้างจากจุลินทรีย์ในน้ำทะเลธรรมชาติ ปริมาตร 80 มิลลิลิตรต่อวัน มีอัตราการบำบัดแอมโมเนียสูงที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 0.87 ± 0.05 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร/วัน หรือ 1.12 มิลลิกรัม ไนโตรเจนต่อกรัมของแข็งแขวนลอยทั้งหมด/วัน ในขณะที่ไบโอฟลอคที่สร้างจุลินทรีย์ในน้ำทะเลธรรมชาติผสมกับสาหร่าย *Spirulina platensis* มีอัตราการบำบัดแอมโมเนียเท่ากับ 0.71 ± 0.02 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร/วัน หรือคิดเป็น 0.49 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อกรัมต่อของแข็งแขวนลอยทั้งหมด/วัน

Azim and Little (2008) ศึกษาผลของเทคโนโลยีไบโอฟลอค (BFT) ในบ่อในที่ร่มต่อคุณภาพน้ำ องค์ประกอบของไบโอฟลอค การเจริญเติบโต และการดำรงชีวิตของปลานิล (*Oreochromis niloticus*) โดยทำการทดลองเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอคในถังที่ควบคุมแสงและระบบน้ำธรรมดา พบว่าคุณค่าทางโภชนาการในถังระบบไบโอฟลอคมีค่าเหมาะสมต่อปลานิล ปลามีอัตรารอด 100 เปอร์เซ็นต์ ผลผลิตของปลาสูงถึง 45 เปอร์เซ็นต์ ในระบบไบโอฟลอค โดยที่ปลาใช้ประโยชน์จากตะกอนฟลอค และอาหารที่ได้รับ ไม่พบความแตกต่างของระดับพลาสม่า ลักษณะเหงือก ระบบเลือดของปลาระหว่างระบบไบโอฟลอค และระบบน้ำธรรมดา แต่ปลาในระบบไบโอฟลอคพบว่าไม่มีสภาวะความเครียดในระหว่างการเลี้ยง

Cardona และคณะ (2015) ศึกษาผลของไบโอฟลอคต่อการตอบสนองของการต้านอนุมูลอิสระและการถอดรหัสการต้านจุลินทรีย์ในกุ้งฟ้า (*Litopenaeus stylirostris*) เมื่อทดสอบกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เปรียบเทียบการต้านอนุมูลอิสระ และการถอดรหัสการต้านจุลินทรีย์ที่แสดงออกของกุ้งสีฟ้าที่เลี้ยงในระบบที่แตกต่างกันคือ ในระบบเทคโนโลยีไบโอฟลอค (BFT) และในน้ำทะเล (CW) สังเกตความแตกต่างในการตอบสนองต่อความเครียดเมื่อทดสอบกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์หลังจาก 30 วันของการเลี้ยง ผลการศึกษาพบว่า ระบบการเลี้ยงไม่มีผลต่อการแสดงออกของยีนที่ควบคุม Antioxidant enzyme (AOE) และ Antimicrobial peptide (AMP) ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์เหนี่ยวนำให้เกิดการตอบสนองที่แตกต่างกันระหว่างกุ้งจากการเลี้ยงทั้งสองชุดการทดลอง (BFT และ CW) เอนไซม์ Catalase เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อกระตุ้นไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ในกุ้งที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอค ในขณะที่กุ้งที่เลี้ยงในระบบน้ำทะเลไม่พบการเปลี่ยนแปลง กุ้งที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอค สามารถคงสภาพสารต้านอนุมูลอิสระ และ AMP หลังจากเกิดความเครียดและมีประสิทธิภาพสามารถป้องกันการถูกทำลายของเซลล์ต่อความเครียด ในขณะที่กุ้งที่เลี้ยงในระบบน้ำทะเล ระบบภูมิคุ้มกันมีแนวโน้มลดลงหลังจากเกิดความเครียด

Ekasari และคณะ (2015) ศึกษาประสิทธิภาพของเทคโนโลยีไบโอฟลอคต่อการเจริญเติบโตและความแข็งแรงของปลานิล (*Oreochromis niloticus*) วัยอ่อน โดยเลี้ยงในระบบไบโอฟลอคและในระบบที่ไม่ใช่ไบโอฟลอค พบว่า ปลาวัยอ่อนมีอัตรารอด 90 – 98 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในระบบควบคุมปลาวัยอ่อนมีอัตรารอด 67 – 75 เปอร์เซ็นต์ การเจริญเติบโตของปลานิลวัยอ่อนสูงขึ้นเมื่ออยู่ในระบบไบโอฟลอค เมื่อปลาได้รับแบคทีเรีย *Streptococcus agalactiae* ปลามีอัตรารอดสูงอย่างมีนัยสำคัญ (75 – 80 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งสูงกว่าปลาในระบบควบคุม สำหรับการทดสอบในความเค็ม ปลาวัยอ่อนมีการออสโมซีสที่ 35 กรัม/ลิตร/ชั่วโมง อัตรารอดในสภาวะความเค็มของปลาในระบบไบโอฟลอคมีอัตรารอดสูงอย่างมีนัยสำคัญถึง 72 เปอร์เซ็นต์ และ 42 เปอร์เซ็นต์ ที่ 1 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ ส่วนอัตรารอดของปลาในระบบควบคุม พบว่าปลาวัยอ่อนมีอัตรารอด 33 เปอร์เซ็นต์ และ 5 เปอร์เซ็นต์ ที่ 1 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

การวางแผนการวิจัย

กำหนดวัตถุประสงค์ และสาระสำคัญของงานวิจัย ค้นคว้าหาข้อมูลโดยการรวบรวมเอกสารจากแหล่งข้อมูล หนังสือ วารสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และสื่ออิเล็กทรอนิคส์ เพื่อนำมาเป็นข้อมูลสำหรับใช้ประกอบในงานวิจัย

วางแผนการทดลอง และการเก็บรวบรวมข้อมูล

แบ่งการทดลองออกเป็น 2 การทดลอง

การทดลองที่ 1 การอนุบาลลูกปลานิลแดงในระบบที่แตกต่างกันเพื่อหาระบบที่เหมาะสมในการอนุบาลลูกปลานิลแดง

1. การเตรียมพื้นที่ และบ่อทดลอง

บ่อซีเมนต์กลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 เมตร ลึก 0.4 เมตร จำนวน 9 บ่อ เติมน้ำในบ่อปริมาตร 150 ลิตร เลี้ยงที่คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

2. การเตรียมสัตว์ทดลอง

ลูกปลานิลแดง จากโรงเพาะฟักคณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ น้ำหนักตัวเฉลี่ย 0.53±0.02 – 0.58±0.02 กรัม/ตัว นำมาอนุบาลในบ่อซีเมนต์กลม อัตราการปล่อยลูกปลานิลแดง 50 ตัว/ตารางเมตร (เบทาโกร, 2557) ให้อาหารเม็ดสำเร็จรูปบดผง 7 เปอร์เซ็นต์/น้ำหนักตัว/วัน โปรตีน 30 เปอร์เซ็นต์ วันละ 3 ครั้ง คือเวลา 08.30, 12.30 และ 15.30 น.

3. การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) โดยแบ่งการทดลองเป็น 3 ชุดการทดลอง ชุดละ 3 ซ้ำ ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 อนุบาลลูกปลานิลแดงในระบบปิดแบบใช้หัวทรายต่อกับปั๊มลมเพื่อให้อากาศในบ่อเลี้ยง เปลี่ยนถ่ายน้ำ 2 ส่วน 3 ของน้ำในบ่อและดูดตะกอนของเสีย อาทิตย์ละ 1 ครั้ง (ภาพที่ 1)

ภาพที่ 1 ระบบปิดแบบใช้หัวทราย

ชุดการทดลองที่ 2 อนุบาลลูกปลานิลแดงในระบบปิดแบบกรองหิน โดยใช้ถังใส่หินแม่น้ำจำนวน 4 ใบเพื่อใช้เป็นกรอง และให้อากาศ โดยให้น้ำไหลผ่านชั้นหินลงในบ่ออนุบาลลูกปลา เปลี่ยนถ่ายน้ำ 2 ส่วน 3 ของน้ำในบ่อและดูดตะกอนของเสีย อาทิตย์ละ 1 ครั้ง (ภาพที่ 2)

ภาพที่ 2 ระบบปิดแบบกรองหิน

ชุดการทดลองที่ 3 อนุบาลลูกปลานิลแดงในระบบปิดแบบไบโอฟลอค เตรียมน้ำประปาในบ่อซีเมนต์จำนวน 3 บ่อ เติมส่วนผสมทำตะกอนไบโอฟลอค โดยเติมกากน้ำตาลปริมาณ 0.4 กรัม/ลิตร รำละเอียดปริมาณ 0.2 กรัม/ลิตร อาหารเม็ดสำเร็จรูปบดผงปริมาณ 0.2 กรัม/ลิตร โดโลไมท์ปริมาณ 0.1 กรัม/ลิตร และตะกอนดิน 0.1 กรัม/ลิตร ให้อากาศโดยใช้หัวทราย แต่ละชุดการทดลองควบคุมสัดส่วนของ C:N=16:1 ควบคุมปริมาณไบโอฟลอค 10 มิลลิกรัม/ลิตร และเติมกากน้ำตาลทุกๆ 2 วัน ปริมาณ 0.06 กรัม/ลิตร (ดัดแปลงจาก Avnimelech, 2015) (ภาพที่ 3)

ภาพที่ 3 ระบบปิดแบบไบโอฟลอค

4. การเก็บรวบรวมข้อมูล

4.1 ศึกษาประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของปลา โดยสุ่มเก็บตัวอย่างปลา 30 เปอร์เซ็นต์ของปลาในบ่อ ชั่งน้ำหนักปลา ทุก ๆ 15 วัน เป็นระยะเวลา 120 วัน เก็บข้อมูลประเมินค่าน้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น (Weight gain) อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (Average daily growth; ADG) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (Specific growth rate; SGR) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (Feed conversion ratio; FCR) และอัตราการรอดตาย (Survival rate) ตามสูตรของนิวุฒิ (2548) นำข้อมูลที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยในแต่ละค่า เพื่อใช้ในการคำนวณ ดังนี้

ก. น้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น (Weight gain (WG) : กรัม/ตัว)

= น้ำหนักเฉลี่ยปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง – น้ำหนักเฉลี่ยปลาเมื่อเริ่มต้นการทดลอง

ข. อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (Average daily gain (ADG) : กรัม/ตัว/วัน)

$$= \frac{\text{น้ำหนักปลาเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง – น้ำหนักปลาเฉลี่ยเมื่อเริ่มต้นการทดลอง}}{\text{ระยะเวลาในการทดลอง}}$$

ค. อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (Specific Growth Rate (SGR) : เปอร์เซ็นต์/วัน)

$$= \frac{(ln\text{น้ำหนักปลาเฉลี่ยสิ้นสุดการทดลอง} - ln\text{น้ำหนักปลาเฉลี่ยเมื่อเริ่มต้น}) \times 100}{\text{ระยะเวลาในการทดลอง}}$$

ง. อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (Feed Conversion Rate (FCR) : หน่วย)

$$= \frac{\text{จำนวนน้ำหนักอาหารแห้งที่ปลากิน}}{\text{น้ำหนักปลาเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น}}$$

จ. อัตราการรอดตาย (Survival Rate : เปอร์เซ็นต์)

$$= \frac{\text{จำนวนปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง} \times 100}{\text{จำนวนปลาเริ่มต้นการทดลอง}}$$

4.2 ปัจจัยคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมี เก็บตัวอย่างน้ำจากแต่ละระบบการอนุบาล ทุกๆ 15 วันเป็นระยะเวลา 120 วัน ตรวจสอบปัจจัยคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมี ได้แก่ อุณหภูมิน้ำ อุณหภูมิอากาศ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved oxygen) แอมโมเนียไนโตรเจน (Ammonia nitrogen) ไนไตรท์ ไนโตรเจน (Nitrite nitrogen) ไนเตรท ไนโตรเจน (Nitrate nitrogen) และออร์โธฟอสเฟสฟอสฟอรัส (Orthophosphate phosphorus) ตามวิธีของอุดมลักษณ์ (2560) (อุดมลักษณ์, 2560)

4.3 การวิเคราะห์ทางสถิติ วิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการเจริญเติบโต และคุณภาพน้ำ โดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance; ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างชุดการทดลอง โดย Turkey multiple range test ที่ระดับระดับนัยสำคัญ ($p<0.05$) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปSPSS

เมื่อได้ผลจากการทดลองที่ 1 แล้ว เลือกผลการทดลองที่เหมาะสมที่สุดในการอนุบาลลูกปลานิลแดงในระบบปิดทั้ง 3 ระบบ พบว่าการอนุบาลลูกปลานิลแดงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคมีความ

เหมาะสมที่สุด จึงนำไปสู่การทดลองที่ 2 การเลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบไบโอฟลอค กับระบบปิดแบบทั่วไปในบ่อซีเมนต์

การทดลองที่ 2 การเลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบไบโอฟลอค กับระบบปิดแบบทั่วไปในบ่อซีเมนต์

เพื่อเปรียบเทียบอัตราการเจริญเติบโต ประเมินค่าดัชนีความสมบูรณ์เพศในปลา คุณค่าทางโภชนาการของเนื้อปลา ปริมาณโลหะหนัก ระบบภูมิคุ้มกัน ปัจจัยทางคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมี ความหลากหลายของแพลงก์ตอนและต้นทุนค่าอาหาร

1. การเตรียมพื้นที่ทดลอง

บ่อซีเมนต์ขนาด 1.5 × 1.5 × 0.7 เมตร จำนวน 12 บ่อ ที่คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ

2. การเตรียมสัตว์ทดลอง

ปลานิลแดงจากคณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ น้ำหนักตัวเฉลี่ย 45.17±0.79 กรัม/ตัว ปล่อยปลาบ่อละ 68 ตัว หรือในอัตรา 30 ตัว/ตารางเมตร (กรมประมง, 2556)

3. การเตรียมอาหารทดลอง

เตรียมอาหารสูตรปลอดภัย ตามสูตรของ จงกล (2558) โดยมีส่วนผสมดังนี้ ปลายข้าว 20 เปอร์เซ็นต์ เปลือกถั่วดาวอินคา 27 เปอร์เซ็นต์ รำละเอียด 28 เปอร์เซ็นต์ ปลาป่น 15 เปอร์เซ็นต์ สไปรูลิน่าบดผง 7 เปอร์เซ็นต์ น้ำมัน 3 เปอร์เซ็นต์ ผสมให้เข้ากัน นำมาอัดเม็ดแล้วผึ่งลมในที่ร่ม เก็บอาหารไว้ในถังพลาสติกทึบแสง (ทำอาหารครั้งละ 20 กิโลกรัม) (จงกล, 2558) ให้อาหารวันละ 2 ครั้ง ปรับปริมาณอาหารที่ให้ทุก ๆ 15 วัน สังเกตและจดบันทึกการกินอาหารของปลา วิเคราะห์หาองค์ประกอบของสารอาหารโดยวิธีการตาม AOAC (1990) (AOAC, 1990) ปริมาณสารอาหารของอาหารที่ใช้ทดลองมีค่าดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณค่าทางโภชนาการอาหารที่ใช้ในการทดลอง

คุณค่าทางโภชนาการอาหาร	ปริมาณสารอาหาร (%)
โปรตีน	36.16±0.07
ไขมัน	8.94±0.24
เยื่อใย	9.33±0.03
Ash	15.19±0.09
Moisture	5.96±0.15

หมายเหตุ : Mean ± S.E.

4. การเตรียมการเลี้ยงระบบทั่วไปและระบบไบโอฟลอค

ระบบปิดแบบทั่วไป เตรียมน้ำประปาในบ่อซีเมนต์จำนวน 3 บ่อ ให้อากาศโดยใช้หัวทราย เปลี่ยนถ่ายน้ำ 2 ส่วน 3 ของน้ำในบ่อและดูดตะกอนของเสีย อาทิตย์ละ 1 ครั้ง

ระบบปิดแบบไบโอฟลอค เตรียมน้ำประปาในบ่อซีเมนต์จำนวน 9 บ่อ เติมส่วนผสมทำตะกอนไบโอฟลอค โดยเติมกากน้ำตาลปริมาณ 0.4 กรัม/ลิตร รำละเอียดปริมาณ 0.2 กรัม/ลิตร อาหารเม็ดสำเร็จรูปบดผงปริมาณ 0.2 กรัม/ลิตร โดโลไมท์ปริมาณ 0.1 กรัม/ลิตร และตะกอนดิน 0.1 กรัม/ลิตร ให้อากาศโดยใช้หัวทราย แต่ละชุดการทดลองควบคุมสัดส่วนของ C:N=16:1 ควบคุมปริมาณไบโอฟลอค 10 มิลลิกรัม/ลิตร เติมกากน้ำตาลทุก ๆ 2 วัน ปริมาณ 0.06 กรัม/ลิตร (ดัดแปลงจาก Avnimelech, 2015)

5. การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) โดยแบ่งการทดลองเป็น 4 ชุดการทดลอง ชุดละ 3 ซ้ำ ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 ระบบการเลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบทั่วไป (Control) ให้อาหารสูตรปลอดภัยปริมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว (T1)

ชุดการทดลองที่ 2 ระบบการเลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบไบโอฟลอค (BFT) ให้อาหารสูตรปลอดภัยปริมาณ 1.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว (T2)

ชุดการทดลองที่ 3 ระบบการเลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบไบโอฟลอค (BFT) ให้อาหารสูตรปลอดภัยปริมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว (T3)

ชุดการทดลองที่ 4 ระบบการเลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบไบโอฟลอค (BFT) ให้อาหารสูตรปลอดภัยปริมาณ 4.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว (T4)

6. การเก็บรวบรวมข้อมูล

6.1 ศึกษาประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของปลา โดยสุ่มเก็บตัวอย่างปลา 30 เปอร์เซ็นต์ของปลาในบ่อ ชั่งน้ำหนักปลา ทุก ๆ 15 วัน เป็นระยะเวลา 120 วัน เก็บข้อมูลประเมินค่าน้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น (Weight gain) อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (Average daily growth; ADG) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (Specific growth rate; SGR) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (Feed conversion ratio; FCR) และอัตราการรอดตาย (Survival rate) ตามสูตรของนิวุฒิ (2548) นำข้อมูลที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยในแต่ละค่าเพื่อใช้ในการคำนวณ (นิวุฒิ, 2548)

6.2 ประเมินค่าดัชนีความสมบูรณ์เพศในปลา ชั่งน้ำหนักตัว วัดความยาวของปลาทำการผ่าตัดนำเอา รังไข่ หรืออัณฑะ ไปชั่งน้ำหนักคำนวณหาค่า GSI การหาค่าโกนาโดโซมาติคอินเด็กซ์ (Gonadosomatic index, GSI) GSI = (น้ำหนักของรังไข่ หรืออัณฑะ / น้ำหนักของปลา) X 100 สุ่มชั่งไข่ปลาด้วยเครื่องชั่ง นับไข่ปลาที่สุ่มทั้งหมด นำจำนวนไข่ที่สุ่มนับมาคำนวณกลับเทียบบัญญัติไตรยางศ์ กับน้ำหนักไข่ปลาทั้งหมด บันทึกผลการทดลอง และสรุปผลการทดลอง ทุก ๆ เดือน (เกรียงศักดิ์, 2550)

6.3 ระบบภูมิคุ้มกัน ศึกษาความสามารถในการกระตุ้นภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะ เก็บตัวอย่างเลือดปลาจากทุกระบบการเลี้ยง ทุก ๆ เดือน (5 ครั้ง) ทดสอบการทำงานของ Lysozyme activity assay ตามวิธีของ Sarder และคณะ (2001) (Sardar et al., 2001)

6.4 โภชนาการอาหาร เก็บตัวอย่างเนื้อปลาจากทุกระบบการเลี้ยง หลังจากสิ้นสุดการทดลอง โดยทำการวิเคราะห์คุณค่าโภชนาการ ได้แก่ โปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้า ความชื้น และคาร์โบไฮเดรต ตามวิธีของ นิวุฒิ (2548)

6.5 ปริมาณโลหะหนัก เก็บตัวอย่างเนื้อปลาจากทุกระบบการเลี้ยง หลังจากสิ้นสุดการทดลอง วิเคราะห์ปริมาณตะกั่ว ปรอท และแคดเมียม ตามวิธีของ AOAC (2000) (AOAC, 2000)

6.6 ปัจจัยคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมี เก็บตัวอย่างน้ำจากแต่ละระบบ ทุก ๆ 15 วัน เป็นระยะเวลา 150 วัน ตรวจสอบปัจจัยคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมี ได้แก่ อุณหภูมิน้ำ อุณหภูมิอากาศ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved oxygen) แอมโมเนียไนโตรเจน (Ammonia nitrogen) ไนไตรท์ ไนโตรเจน (Nitrite nitrogen) ไนเตรท ไนโตรเจน (Nitrate nitrogen) และออร์โธฟอสเฟสฟอสฟอรัส (Orthophosphate phosphorus) ตามวิธีของอุดมลักษณ์ (2560)

6.7 การศึกษาแพลงก์ตอนในบ่อ ตรวจวินิจฉัยชนิดของแพลงก์ตอนพืชโดยใช้หนังสือ และเอกสารที่เกี่ยวข้อง จงกล (2560) และทำการนับปริมาณแพลงก์ตอนพืชภายใต้กล้องจุลทรรศน์โดยวิธี “Drop Microtransect” สำหรับการศึกษาแพลงก์ตอนสัตว์ใช้หนังสือ และเอกสารที่เกี่ยวข้อง จงกล

(2560) และทำการนับปริมาณแพลงก์ตอนสัตว์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ โดยใช้สไลด์สำเร็จรูป “Sedgwick-Rafter Slide”

6.8 ต้นทุนการผลิต = ค่าอาหารปลา+ค่าพันธุ์ปลา+ค่าไฟ+ค่าส่วนผสมไบโอฟลอค

6.9 การวิเคราะห์ทางสถิติ โดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance; ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างชุดการทดลอง โดย Turkey multiple range test ที่ระดับระดับนัยสำคัญ ($p<0.05$) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS

ขอบเขตของงานวิจัย

กำหนดตัวแปรต้น คือปลาที่เลี้ยงในแต่ละระบบ (เลี้ยงในระบบปิดแบบทั่วไป และเลี้ยงในระบบปิดไบโอฟลอค)

กำหนดตัวแปรตาม คือปริมาณแพลงก์ตอนในน้ำ คุณภาพน้ำ คุณค่าทางโภชนาการของเนื้อปลา ปริมาณโลหะหนัก ค่าความดกของไข่ และระบบภูมิคุ้มกันของปลา

กำหนดตัวแปรควบคุม คือระยะเวลาในการเลี้ยง ปริมาณ และเวลาการให้อาหารปลา ขนาดและอายุของปลา

ระยะเวลาการทำวิจัย และสถานที่ดำเนินงาน

การทดลองที่ 1 การอนุบาลลูกปลานิลแดงในระบบที่แตกต่างกันเพื่อหาระบบที่เหมาะสมในการอนุบาลลูกปลานิลแดง ทำการทดลองระหว่างเดือนสิงหาคม 2559 ถึง เดือนพฤศจิกายน 2559 ณ คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

การทดลองที่ 2 การเลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบไบโอฟลอค กับระบบปิดแบบทั่วไปในบ่อซีเมนต์เพื่อเปรียบเทียบอัตราการเจริญเติบโต ประเมินค่าดัชนีความสมบูรณ์เพศในปลา ระบบภูมิคุ้มกัน คุณค่าทางโภชนาการของเนื้อปลา ปริมาณโลหะหนัก ปัจจัยคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมี ความหลากหลายของแพลงก์ตอนพืช แพลงก์ตอนสัตว์และต้นทุนการผลิต ทำการทดลองระหว่างเดือนตุลาคม 2560 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2561 ณ คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

บทที่ 4
ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการวิจัย

การทดลองที่ 1 การอนุบาลลูกปลานิลแดงในระบบที่แตกต่างกันเพื่อหาระบบที่เหมาะสมในการอนุบาลลูกปลานิลแดง

1. ปัจจัยการเจริญเติบโตของลูกปลานิลแดงในบ่ออนุบาลในระบบปิดแบบใช้หัวทราย กรองหินและไบโอฟลอค

จากการอนุบาลลูกปลานิลแดงในระบบปิดแบบใช้หัวทราย กรองหินและไบโอฟลอค โดยปล่อยลูกปลานิลแดงที่มีน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 0.53±0.02–0.58±0.02 กรัม/ตัว อัตราการปล่อย 50 ตัว/ตารางเมตรในบ่อซีเมนต์กลม เป็นระยะเวลา 120 วัน พบว่าน้ำหนักเฉลี่ยลูกปลานิลแดงเริ่มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ในวันที่ 45 ของการอนุบาล ลูกปลานิลแดงที่อนุบาลในระบบปิดแบบไบโอฟลอค มีน้ำหนักเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง มีค่าเท่ากับ 27.85±0.27 กรัม มากกว่าลูกปลานิลแดงที่อนุบาลในระบบปิดแบบใช้หัวทรายและกรองหิน อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ดังภาพที่ 4 และตารางที่ 2

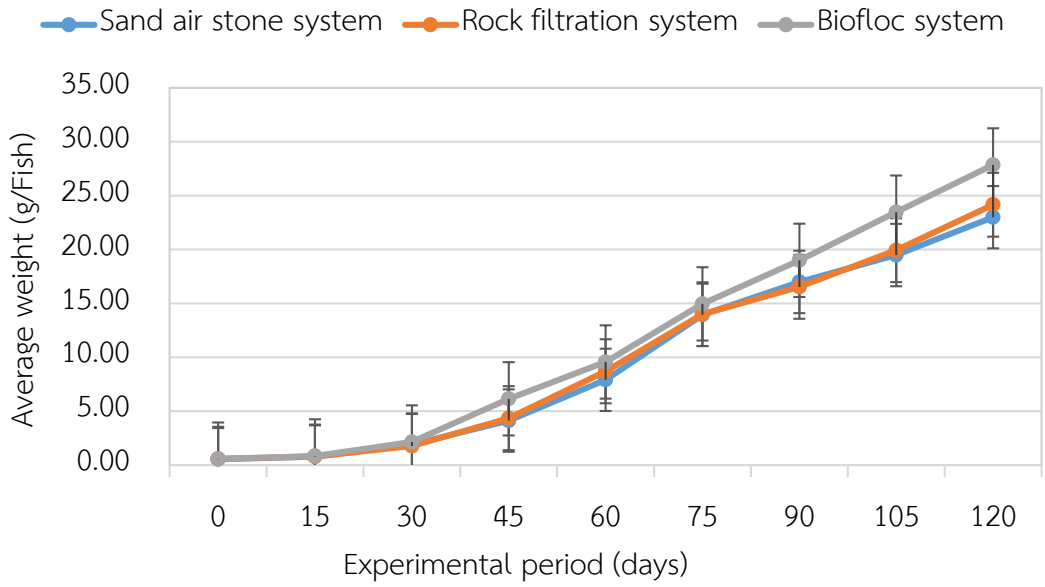
น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของลูกปลานิลแดงที่อนุบาลในระบบปิดแบบใช้หัวทราย กรองหินและไบโอฟลอค ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ดังภาพที่ 5 และตารางที่ 2

อัตราการเจริญเติบโตต่อวันของลูกปลานิลแดงที่อนุบาลในระบบปิดแบบไบโอฟลอคมีค่าเท่ากับ 0.23±0.44 กรัม/ตัว/วัน มีค่าสูงกว่าลูกปลานิลแดงที่อนุบาลในระบบปิดแบบใช้หัวทราย และกรองหินอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ดังภาพที่ 6 และตารางที่ 2

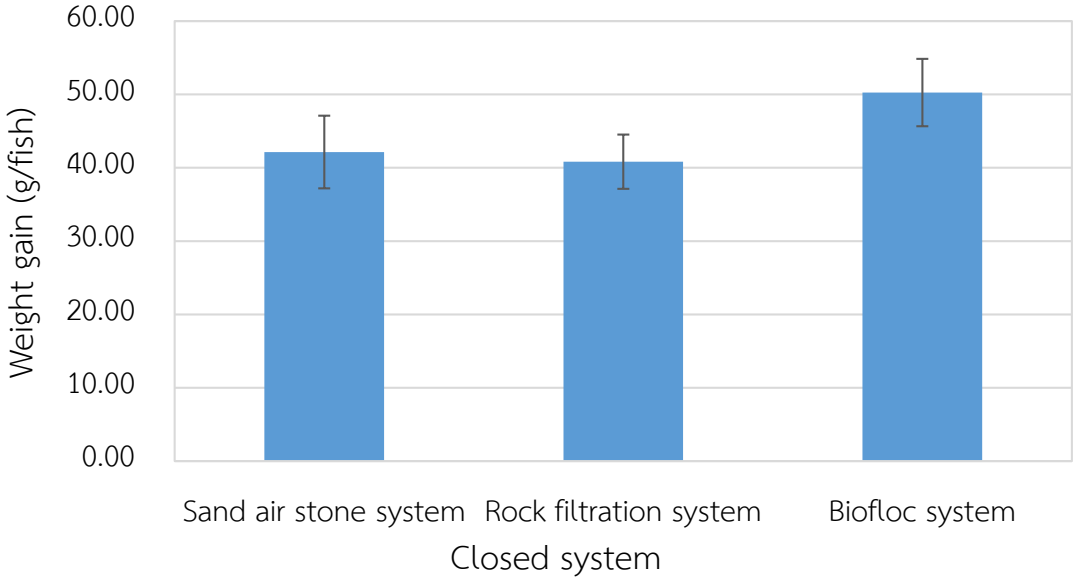
อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของลูกปลานิลแดงที่อนุบาลในระบบปิดแบบใช้หัวทราย กรองหินและไบโอฟลอค ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ดังภาพที่ 7 และตารางที่ 2

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของลูกปลานิลแดงที่อนุบาลในระบบปิดแบบไบโอฟลอคมีค่าเท่ากับ 2.06±0.17 ดีกว่ากว่าลูกปลานิลแดงที่อนุบาลในระบบปิดแบบใช้หัวทราย และกรองหินอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ดังภาพที่ 8 และตารางที่ 2

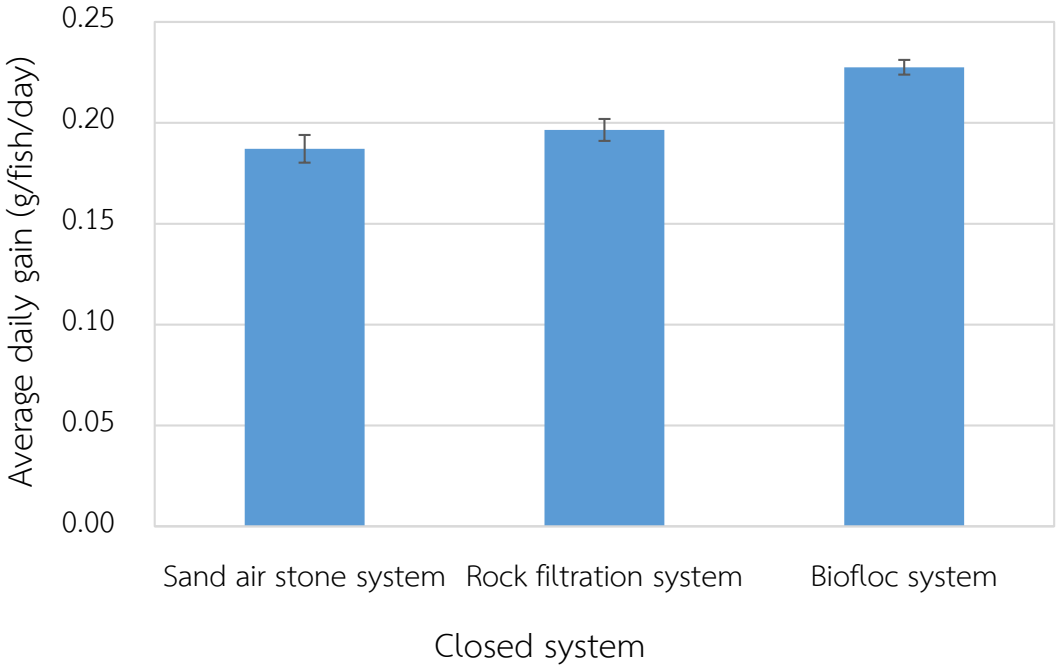
อัตราการรอดตายของลูกปลานิลแดงที่อนุบาลในระบบปิดแบบไบโอฟลอคมีค่าเท่ากับ 90.00±1.53 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่าลูกปลานิลแดงที่อนุบาลในระบบปิดแบบใช้หัวทรายและกรองหินอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ดังภาพที่ 9 และตารางที่ 2



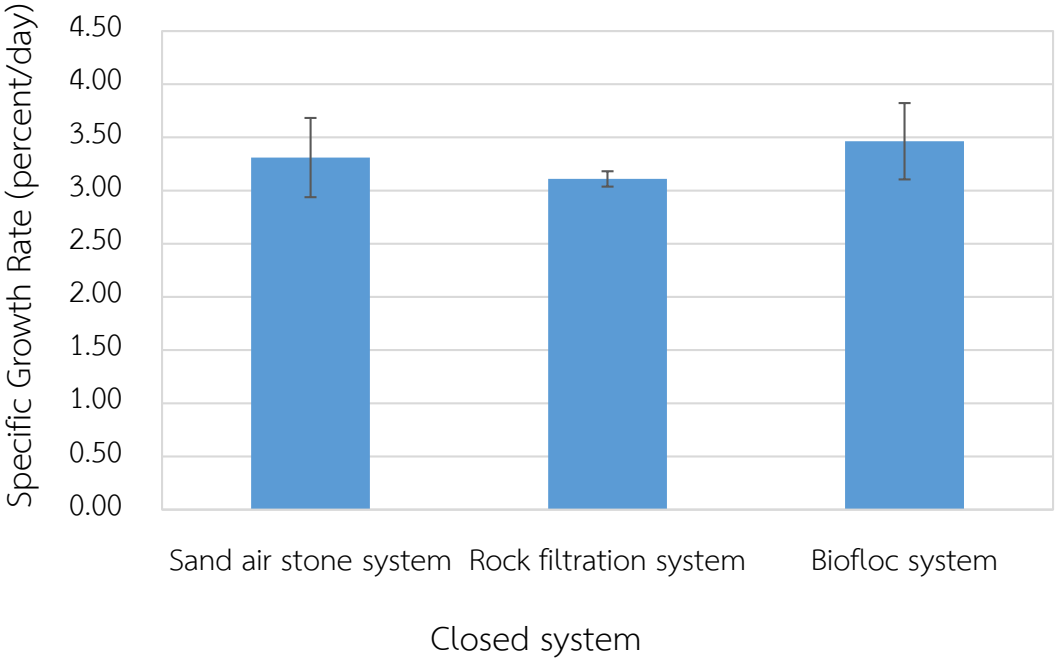
ภาพที่ 4 น้ำหนักตัวเฉลี่ยของลูกปลานิลแดงที่อนุบาลในระบบปิดแบบใช้หัวทราย กรองหิน และไบโอฟลอค ระยะเวลาอนุบาล 120 วัน



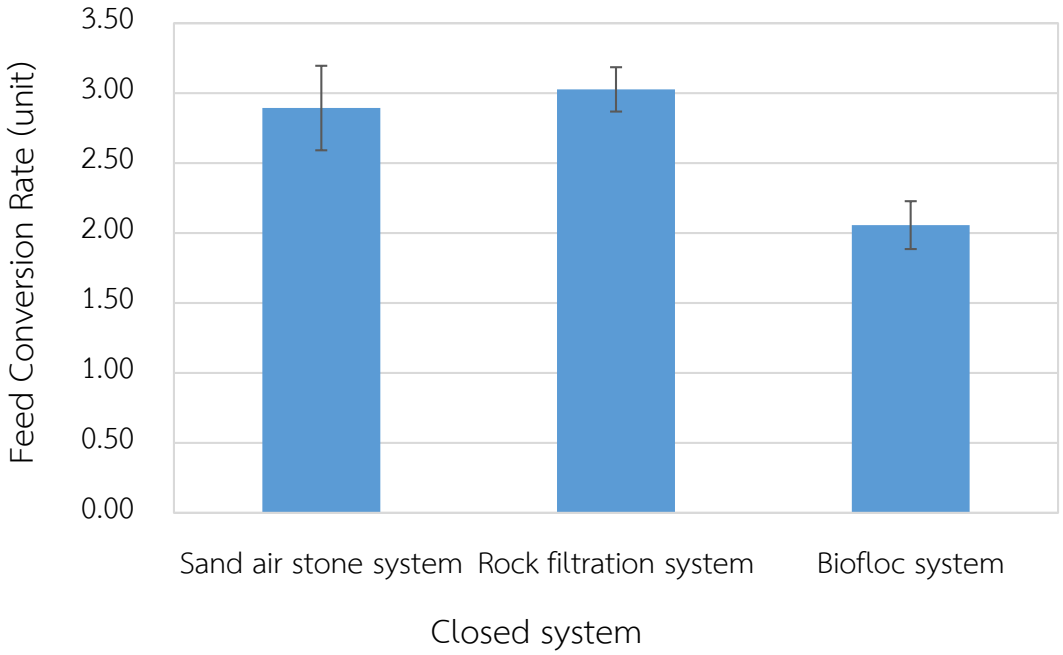
ภาพที่ 5 น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของลูกปลานิลแดงที่อนุบาลในระบบปิดแบบใช้หัวทราย กรองหินและไบโอฟลอค ระยะเวลาอนุบาล 120 วัน



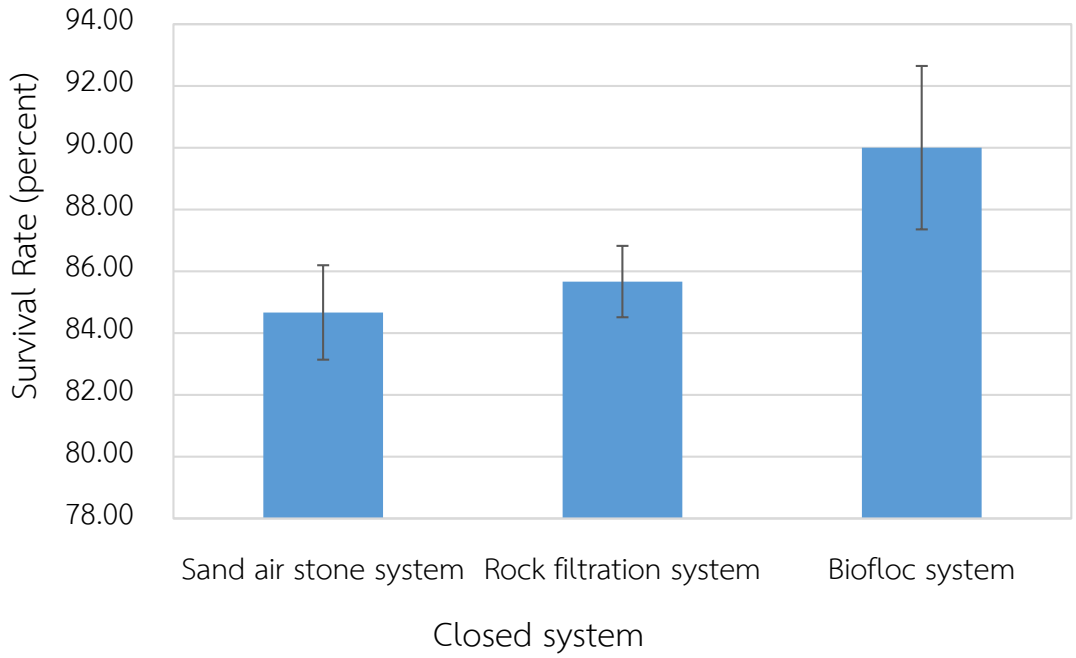
ภาพที่ 6 อัตราการเจริญเติบโตต่อวันของลูกปลานิลแดงที่อนุบาลในระบบปิดแบบใช้หัวทรายกรองหินและไบโอฟลอค ระยะเวลาอนุบาล 120 วัน



ภาพที่ 7 อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของลูกปลานิลแดงที่อนุบาลในระบบปิดแบบใช้หัวทรายกรองหินและไบโอฟลอค ระยะเวลาอนุบาล 120 วัน



ภาพที่ 8 อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของลูกปลานิลแดงที่อนุบาลในระบบปิดแบบใช้หัวทรายกรองหินและไบโอฟลอค ระยะเวลาอนุบาล 120 วัน



ภาพที่ 9 อัตราการรอดตายของลูกปลานิลแดงที่อนุบาลในระบบปิดแบบใช้หัวทรายกรองหินและไบโอฟลอค ระยะเวลาอนุบาล 120 วัน

ตารางที่ 2 ปัจจัยการเจริญเติบโตของลูกปลานิลแดงที่อนุบาลในระบบปิดแบบใช้หัวทราย กรองหิน และไบโอฟลอค ระยะเวลาอนุบาล 120 วัน

พารามิเตอร์ที่ศึกษา	ระบบปิด		
	ระบบหัวทราย	ระบบกรองหิน	ระบบไบโอฟลอค
น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น (กรัม/ตัว)	0.53±0.02 [a]	0.58±0.02 [a]	0.54±0.03 [a]
น้ำหนักเฉลี่ยสุดท้าย (กรัม/ตัว)	23.00±0.44 [a]	24.16±0.63 [a]	27.85±0.27 [b]
น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	40.81±2.14 [a]	42.14±2.86 [a]	50.26±2.65 [b]
อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (กรัมตัว/วัน/)	0.20±0.00 [a]	0.19±0.00 [a]	0.23±0.00 [b]
อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (เปอร์เซ็นต์วัน/)	3.11±0.04 [a]	3.31±0.22 [a]	3.46±0.21 [a]
อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (หน่วย)	3.03±0.16 [b]	2.89±0.17 [b]	2.06±0.17 [a]
อัตราการรอดตาย (เปอร์เซ็นต์)	85.67±0.67 [ab]	84.67±0.89 [a]	90.00±1.53 [b]

หมายเหตุ : Mean ± S.E. ตัวอักษรที่ไม่เหมือนกันในแต่ละแถว แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

2. ปัจจัยคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีในบ่ออนุบาลในระบบปิดแบบใช้หัวทราย กรองหิน และไบโอฟลอค

2.1 อุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิน้ำในบ่ออนุบาลลูกปลานิลแดงทั้ง 3 ชุดการทดลองแปรผันตามกันตลอดระยะเวลาในการทดลอง 120 วัน ในวันที่ 90 ของการทดลองอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิน้ำเริ่มต่ำลงและสูงขึ้นในวันที่ 135 ของการทดลอง ทั้ง 3 ชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกัน ดังภาพที่ 10 และ 11

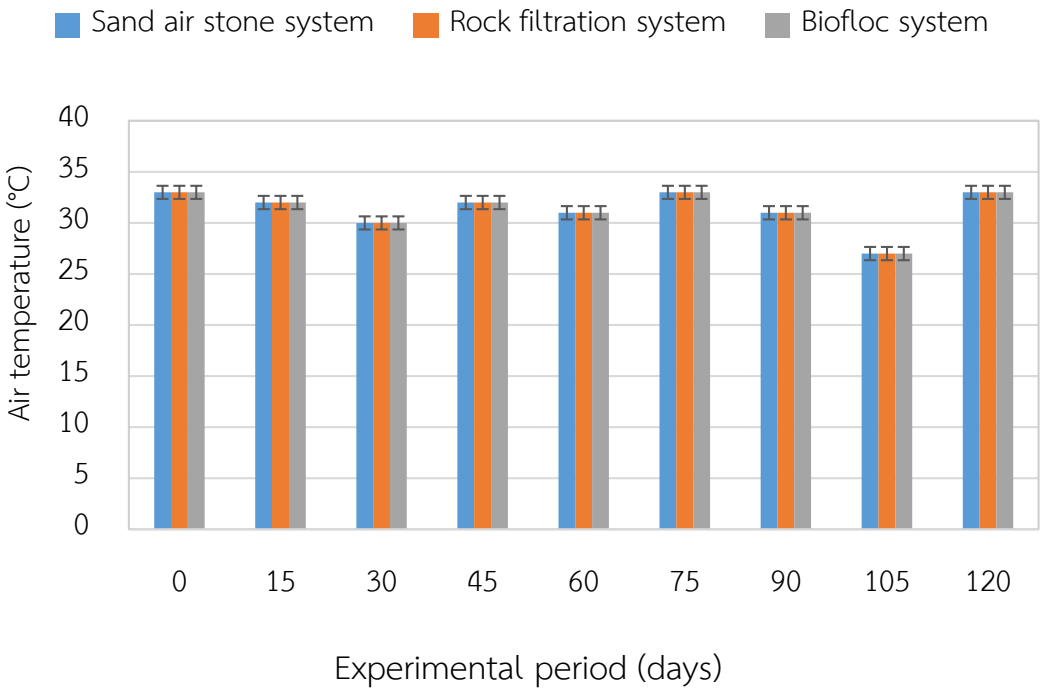
2.2 ค่าความเป็นกรด–ด่าง (pH) พบว่า pH ในบ่ออนุบาลลูกปลานิลแดงระบบปิดไบโอฟลอคและแบบกรองหิน ไม่มีความแตกต่างกัน มีค่าเท่ากับ 8.10±0.01 และ 8.11±0.03 ตามลำดับ ส่วน pH ในบ่อระบบปิดแบบใช้หัวทรายมีค่าสูงสุด มีค่าเท่ากับ 8.23±0.02 ดังภาพที่ 12

2.3 ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) พบว่าในบ่ออนุบาลลูกปลานิลแดงที่อนุบาลในระบบปิดแบบกรองหินและแบบใช้หัวทรายมีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 7.83±0.09 และ 7.38±0.18 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ส่วนในระบบปิดแบบไบโอฟลอคมีค่าเท่ากับ 6.93±0.18 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ดังภาพที่ 13

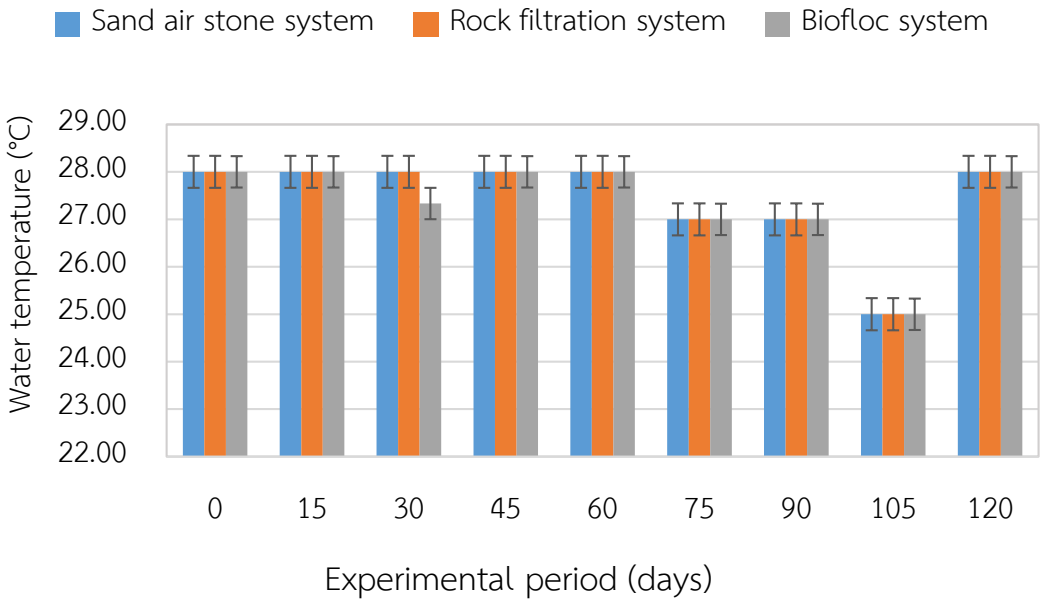
2.4 ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (NH_3-N) พบว่าทั้ง 3 ชุดการทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) ในบ่ออนุบาลลูกปลานิลแดงในระบบปิดแบบใช้หัวทรายและกรองหิน พบว่ามีปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนสูงขึ้น ในระบบปิดแบบใช้หัวทราย มีค่าระหว่าง 0.09±0.01-0.70±0.01 มิลลิกรัม/ลิตร ระบบปิดแบบกรองหิน มีค่าระหว่าง 0.10±0.00-0.42±0.01 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนระบบปิดแบบไบโอฟลอค พบว่าปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนลดลง มีค่าระหว่าง 0.23±0.01-0.81±0.01 มิลลิกรัม/ลิตร ดังภาพที่ 14

2.5 ไนไตรท์-ไนโตรเจน (NO_2^--N) พบว่าทั้ง 3 ชุดการทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) ในบ่อที่อนุบาลลูกปลานิลแดงในระบบปิดแบบใช้หัวทรายและแบบกรองหินมีค่าลดลงจนสิ้นสุดการทดลอง ในบ่อระบบปิดแบบไบโอฟลอคมีค่าเพิ่มขึ้นจนสิ้นสุดการทดลองอย่างมีนัยสำคัญ ดังภาพที่ 15 ส่วนไนเตรท-ไนโตรเจน (NO_3^--N) พบว่าทั้ง 3 ชุดการทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) ในบ่อที่อนุบาลลูกปลานิลแดงในระบบปิดแบบใช้หัวทรายและแบบกรองหินมีค่าสูงขึ้นจนสิ้นสุดการทดลอง ในบ่อระบบปิดแบบไบโอฟลอคมีค่าลดลงจนสิ้นสุดการทดลองอย่างมีนัยสำคัญ ดังภาพที่ 16

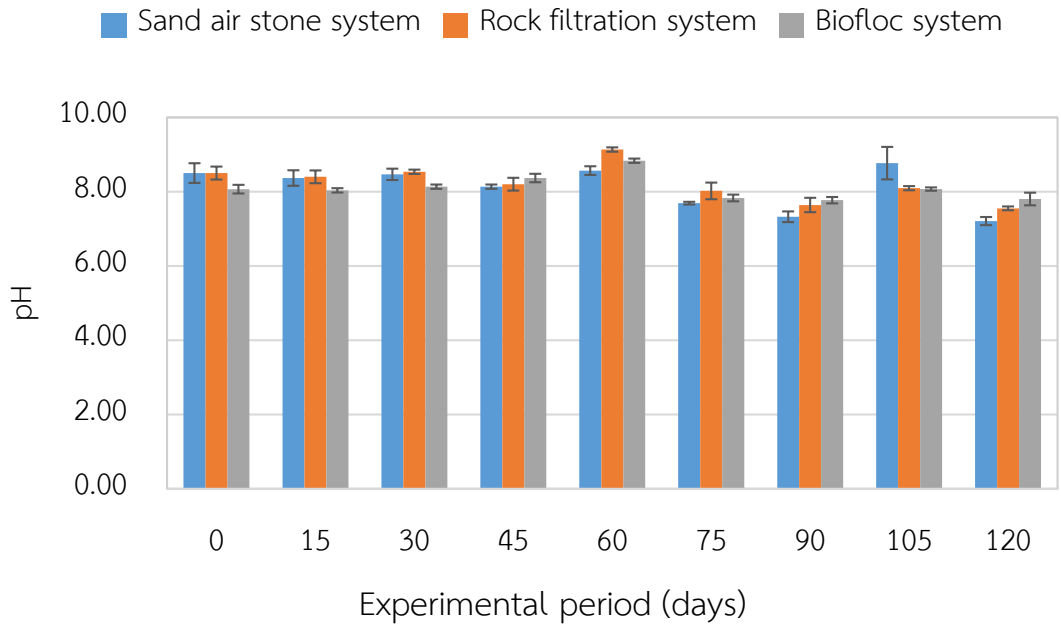
2.5 ปริมาณออร์โธฟอสเฟส-ฟอสฟอรัส (PO_4^{3-}-P) พบว่าในบ่ออนุบาลปลานิลแดงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคมีค่าสูงที่สุด มีค่าระหว่าง 0.02±0.01-1.40±0.35 มิลลิกรัม/ลิตร อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ดังภาพที่ 17



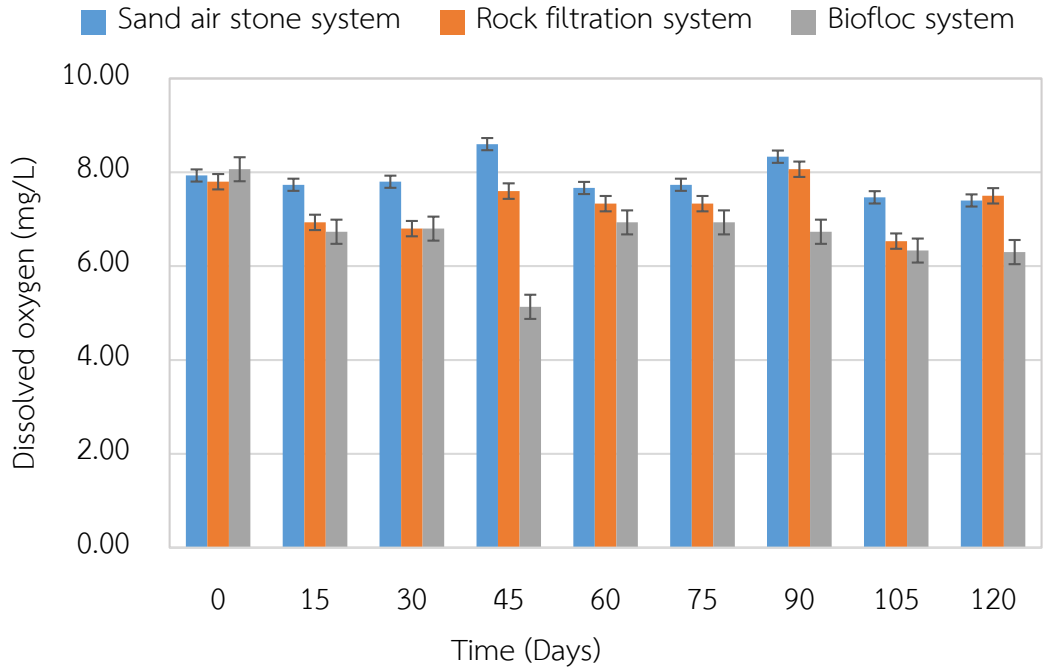
ภาพที่ 10 อุณหภูมิอากาศของบ่อที่อนุบาลลูกปลานิลแดงในระบบปิดแบบใช้หัวทราย กรองหิน และไบโอฟลอค ระยะเวลาอนุบาล 120 วัน



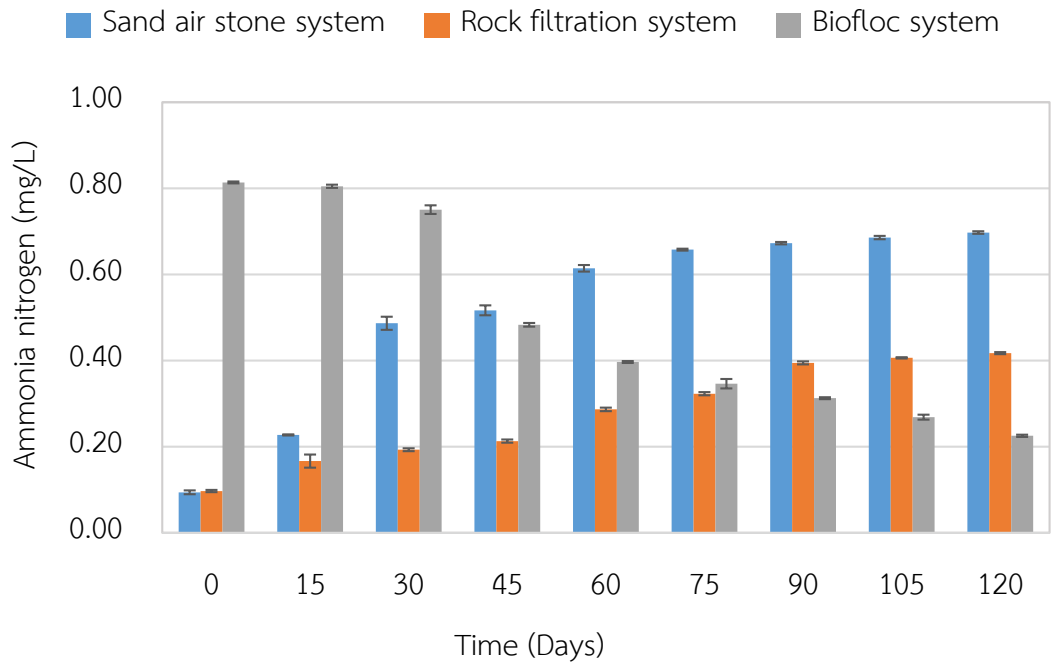
ภาพที่ 11 อุณหภูมิน้ำของบ่อที่อนุบาลลูกปลานิลแดงในระบบปิดแบบใช้หัวทราย กรองหิน และไบโอฟลอค ระยะเวลาอนุบาล 120 วัน



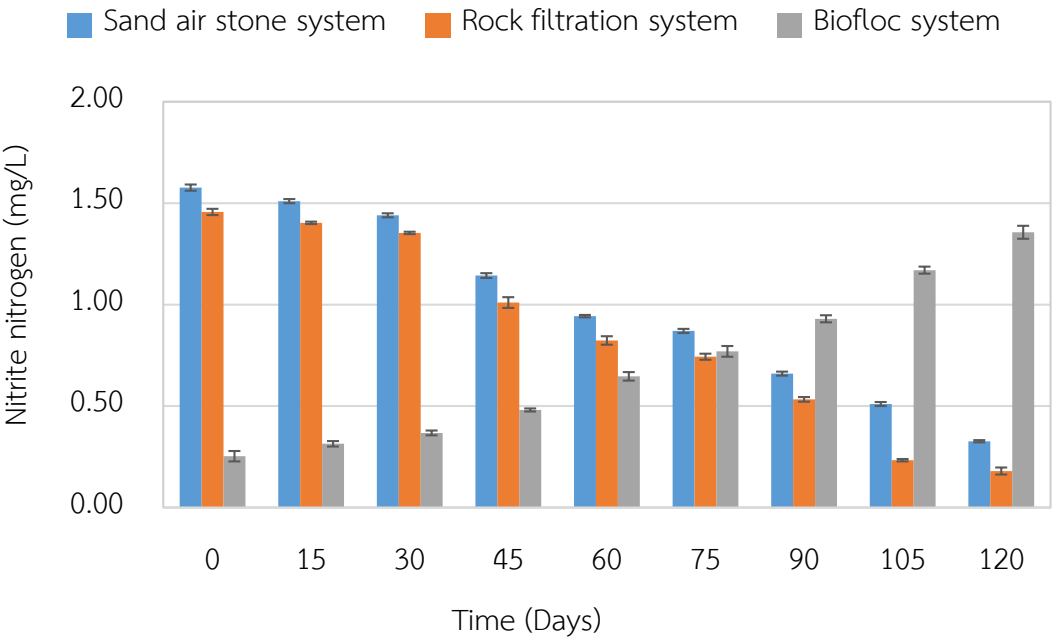
ภาพที่ 12 ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของบ่อที่อนุบาลลูกปลานิลแดงในระบบปิดแบบใช้หัวทรายกรองหินและไบโอฟลอค ระยะเวลาอนุบาล 120 วัน



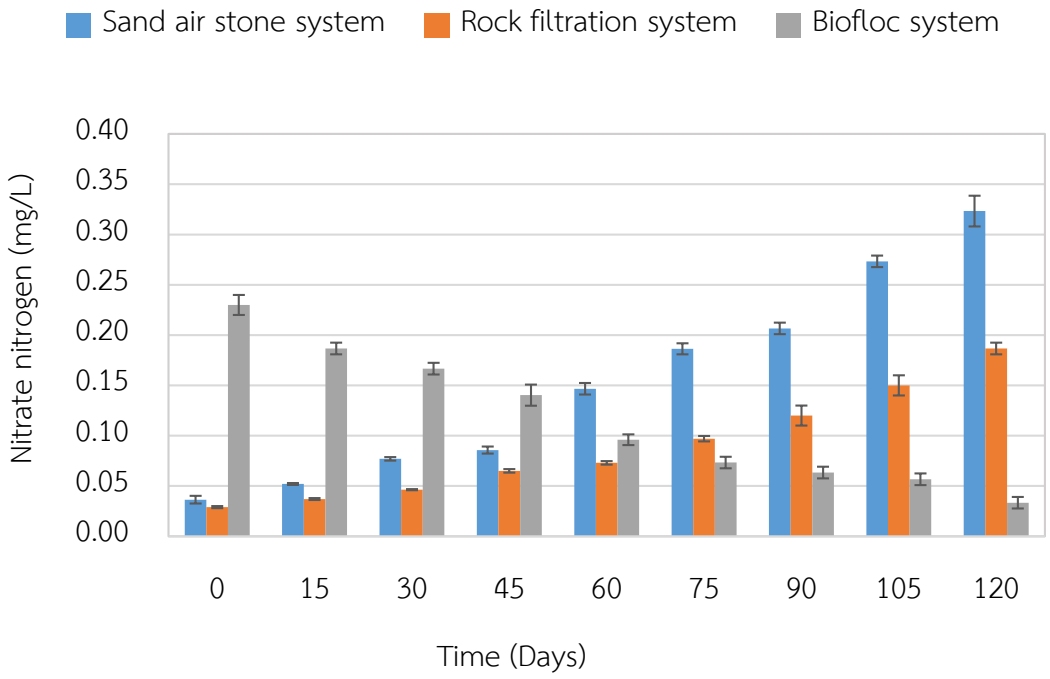
ภาพที่ 13 ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ของบ่อที่อนุบาลลูกปลานิลแดงในระบบปิดแบบใช้หัวทรายกรองหิน และไบโอฟลอค ระยะเวลาอนุบาล 120 วัน



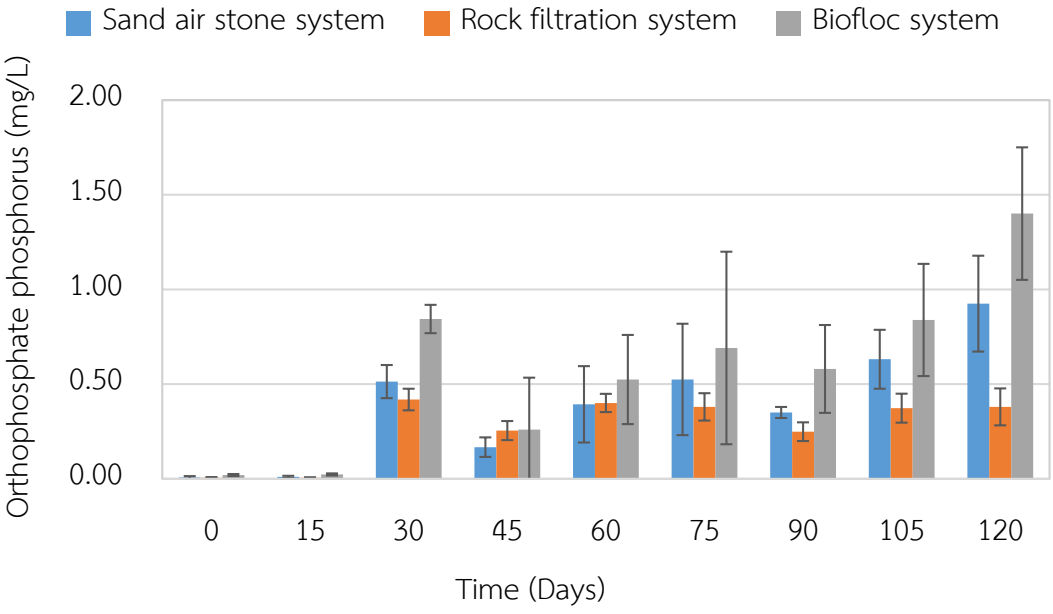
ภาพที่ 14 ค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ของบ่อที่อนุบาลลูกปลานิลแดงในระบบปิดแบบใช้หัวทรายกรองหินและไบโอฟลอค ระยะเวลาอนุบาล 120 วัน



ภาพที่ 15 ค่าไนไตรท์-ไนโตรเจน ของบ่อที่อนุบาลลูกปลานิลแดงในระบบปิดแบบใช้หัวทรายกรองหินและไบโอฟลอค ระยะเวลาอนุบาล 120 วัน



ภาพที่ 16 ค่าไนเตรท-ไนโตรเจน ของบ่อที่อนุบาลลูกปลานิลแดงในระบบปิดแบบใช้หัวทรายกรองหินและไบโอฟลอค ระยะเวลาอนุบาล 120 วัน



ภาพที่ 17 ค่าออร์โธฟอสเฟส-ฟอสฟอรัส ของบ่อที่อนุบาลลูกปลานิลแดงในระบบปิดแบบใช้หัวทรายกรองหิน และไบโอฟลอค ระยะเวลาอนุบาล 120 วัน

ผลจากการทดลองที่ 1 ทำให้ได้ทราบว่าการอนุบาลลูกปลานิลในระบบปิกแบบไบโอฟลอคมีความเหมาะสมที่สุด ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาการเลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคเพื่อเปรียบเทียบกับระบบปิดแบบทั่วไปในการทดลองที่ 2

การทดลองที่ 2 การเลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบไบโอฟลอค กับระบบปิดแบบทั่วไปในบ่อซีเมนต์

เพื่อเปรียบเทียบปัจจัยการเจริญเติบโต ประเมินค่าดัชนีความสมบูรณ์เพศในปลา ระบบภูมิคุ้มกัน คุณค่าทางโภชนาการของเนื้อปลา ปริมาณโลหะหนัก ปัจจัยคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมี ความหลากหลายของแพลงก์ตอนพืช แพลงก์ตอนสัตว์และต้นทุนการผลิต

1. ปัจจัยการเจริญเติบโตของปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคและระบบปิดแบบทั่วไป

1.1 น้ำหนักเฉลี่ย เมื่อเริ่มต้นทดลองปลานิลแดงมีน้ำหนักเฉลี่ย เท่ากับ 45.00±0.87, 45.33±0.76, 45.17±0.76 และ 45.17±0.76 กรัม/ตัว ตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคให้อาหาร 1.5, 3 และ 4.5 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 346.00±0.01, 328.00±1.00 และ 349.50±0.50 กรัม/ตัว ตามลำดับ สูงกว่าปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบทั่วไปให้อาหาร 3 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 306.00±2.00 กรัม/ตัว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังภาพที่ 18

1.2 น้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น พบว่าปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคให้อาหาร 4.5 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 304.33±1.04 กรัม/ตัว ซึ่งมีค่าสูงกว่าทั้ง 3 ชุดการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังภาพที่ 19 และตารางที่ 3

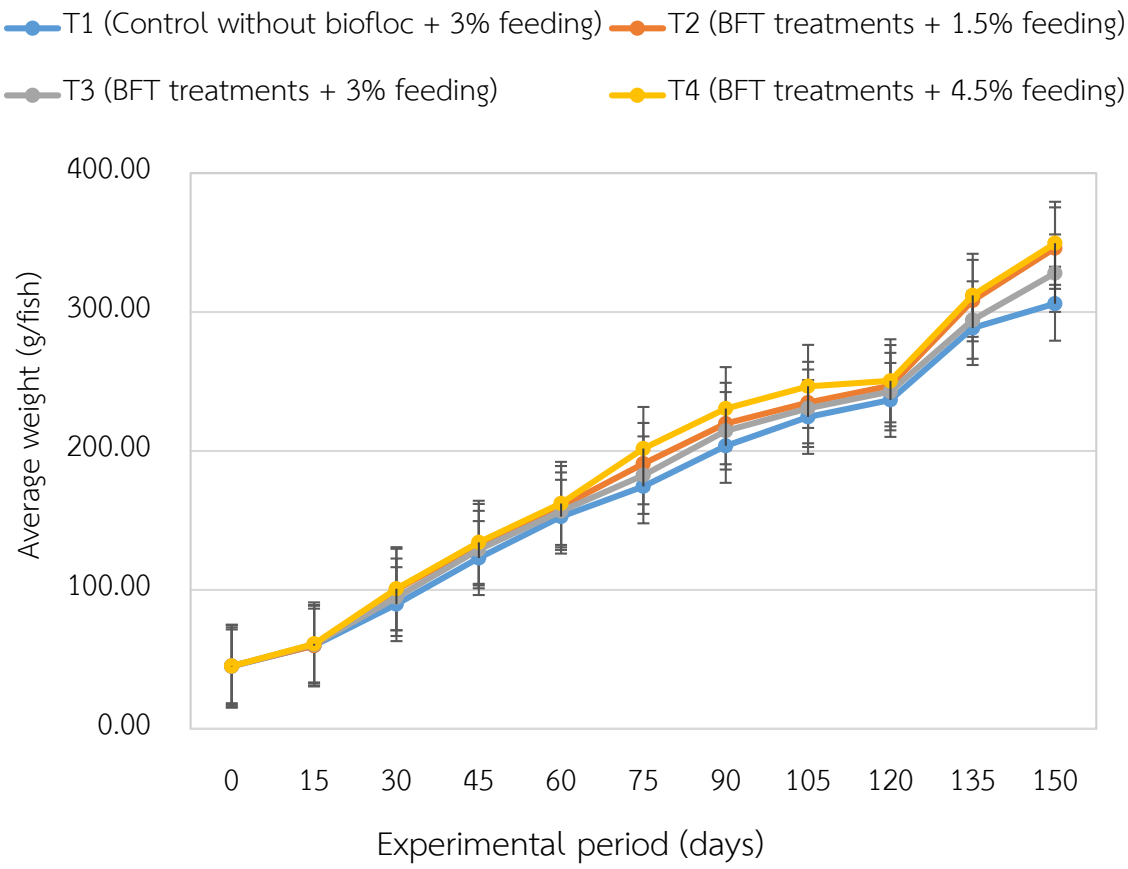
1.3 อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน พบว่าปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคให้อาหาร 1.5, 3 และ 4.5 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 2.01±0.01, 1.89±0.01 และ 2.03±0.01 กรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ สูงกว่าปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบทั่วไปให้อาหาร 3 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 1.74±0.01 กรัม/ตัว/วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังภาพที่ 20 และตารางที่ 3

1.4 อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ พบว่าปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคให้อาหาร 1.5, 3 และ 4.5 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 1.35±0.01, 1.32±0.01 และ 1.36±0.01 เปอร์เซ็นต์/วัน ตามลำดับ สูงกว่าปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบทั่วไปให้อาหาร 3 เปอร์เซ็นต์ มี

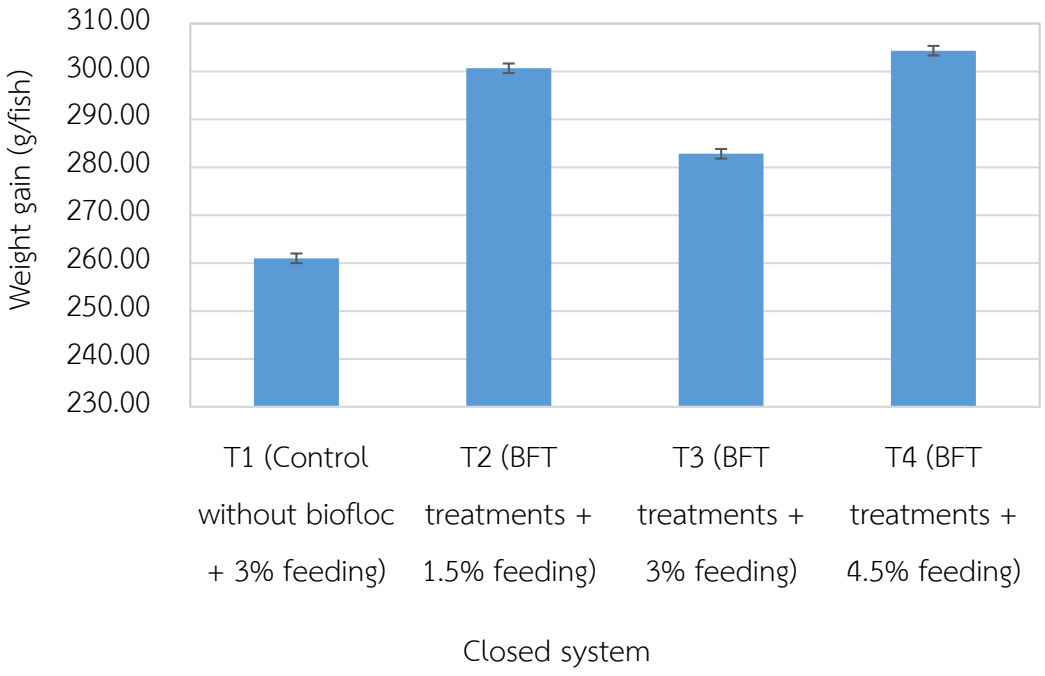
ค่าเท่ากับ1.28±0.01 เปอร์เซ็นต์/วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังภาพที่ 21 และตารางที่ 3

1.5 อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ พบว่าปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอค ให้อาหาร 1.5 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 1.10±0.01 ดีกว่าทั้ง 3 ชุดการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังภาพที่ 22 และตารางที่ 3

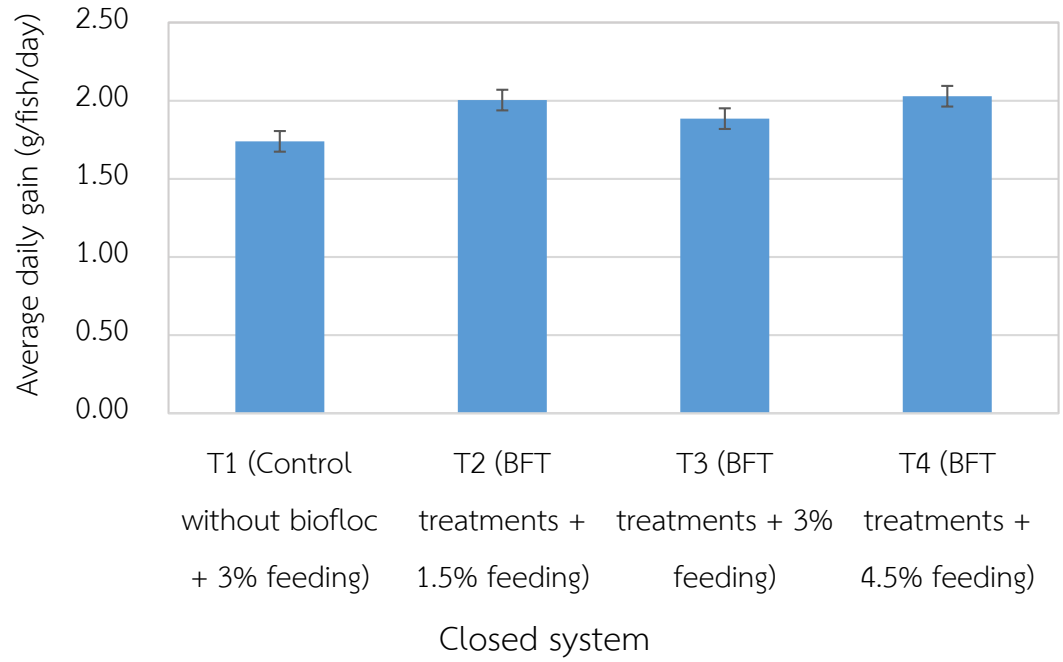
1.6 อัตราการรอดตาย พบว่าเมื่อสิ้นสุดการทดลองปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคให้อาหาร 1.5, 3 และ 4.5 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 81.19±1.00, 86.99 ± 0.32 และ 85.01 ± 0.60 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สูงกว่าปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบทั่วไปให้อาหาร 3 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 51.23±1.18 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังภาพที่ 23 และตารางที่ 3



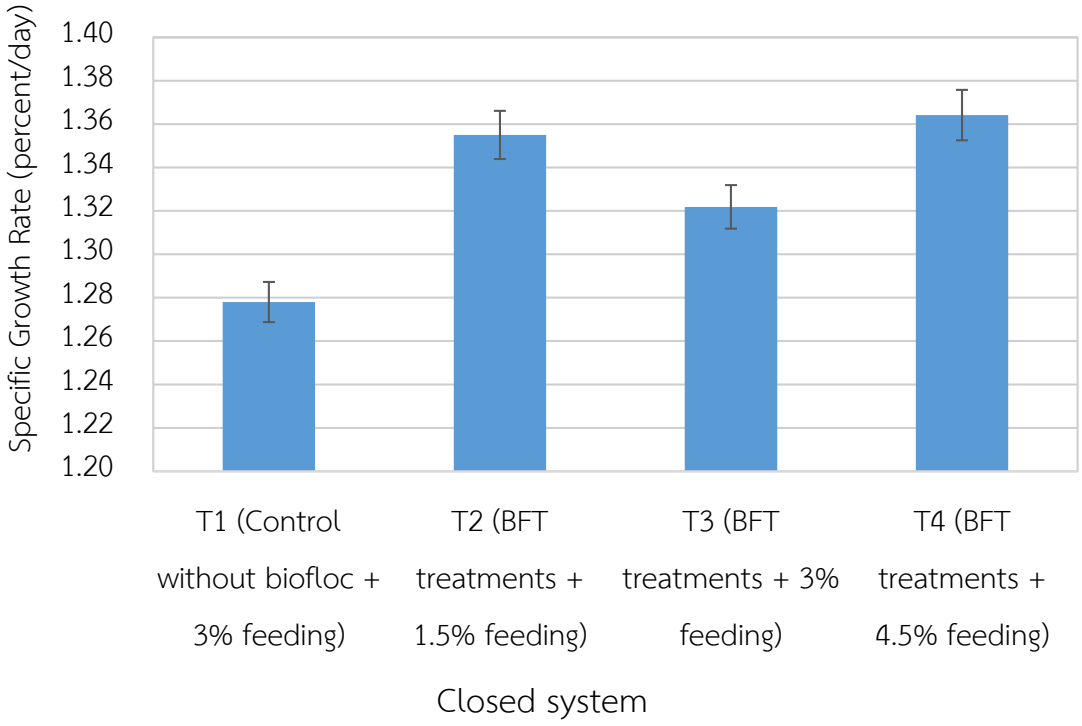
ภาพที่ 18 น้ำหนักเฉลี่ยของปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอค และระบบปิดแบบทั่วไป ตลอดระยะเวลา 150 วัน



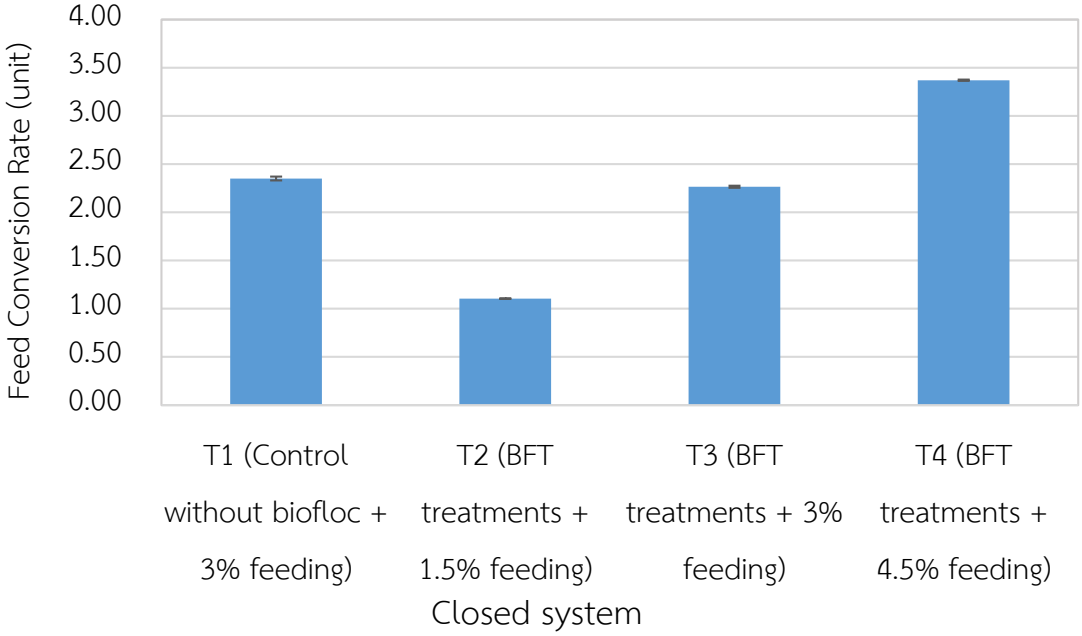
ภาพที่ 19 น้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นของปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคและระบบปิดแบบทั่วไป ตลอดระยะเวลา 150 วัน



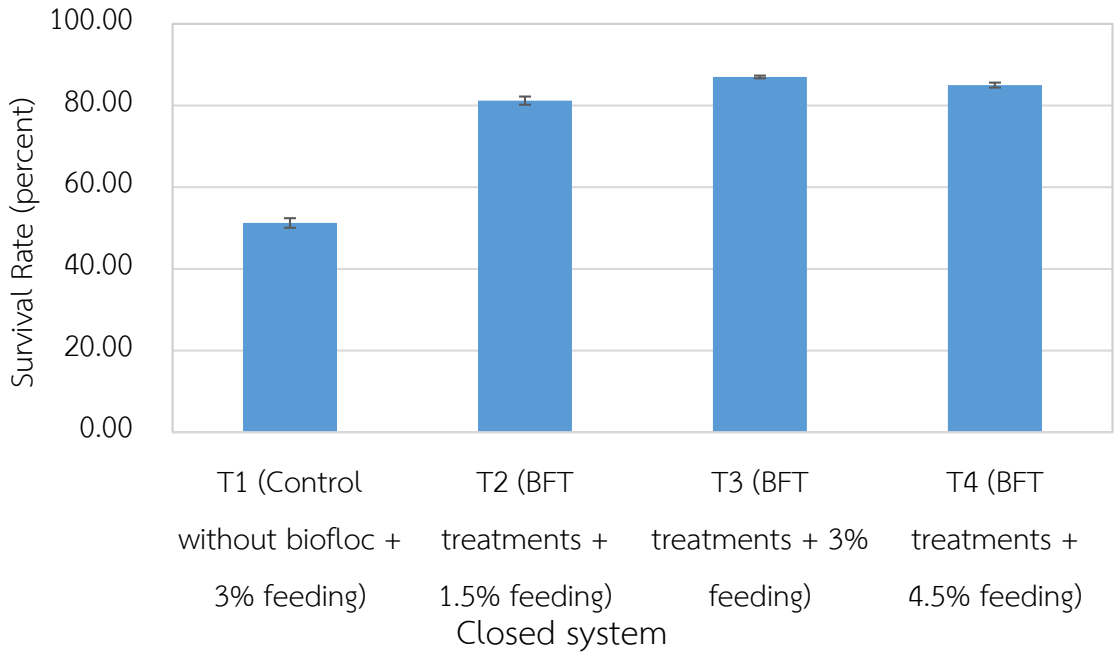
ภาพที่ 20 อัตราการเจริญเติบโตต่อวันของปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคและระบบปิดแบบทั่วไป ตลอดระยะเวลา 150 วัน



ภาพที่ 21 อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคและระบบปิดแบบทั่วไป ตลอดระยะเวลา 150 วัน



ภาพที่ 22 อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคและระบบปิดแบบทั่วไป ตลอดระยะเวลา 150 วัน



ภาพที่ 23 อัตราการรอดตายของปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคและระบบปิดแบบทั่วไป ตลอดระยะเวลา 150 วัน

ตารางที่ 3 ปัจจัยการเจริญเติบโตของปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอค และระบบปิดแบบทั่วไป ตลอดระยะเวลา 150 วัน

ปัจจัยการเจริญเติบโต	ระบบการเลี้ยง			
	T1 (ระบบควบคุม+ให้อาหาร 3%)	**T2 (ระบบไบโอฟลอค+ให้อาหาร 1.5%)**	**T3 (ระบบไบโอฟลอค+ให้อาหาร 3%)**	**T4 (ระบบไบโอฟลอค+ให้อาหาร 4.5%)**
น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม/ตัว)	45.00±0.87 [a]	45.33±0.76 [a]	45.17±0.76 [a]	45.17±0.76 [a]
น้ำหนักสุดท้าย (กรัม/ตัว)	306.00±2.00 [a]	346.00±0.01 [c]	328.00±1.00 [b]	349.50±0.50 [d]
น้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น (กรัม/ตัว)	261.00±1.32 [a]	300.67±0.76 [c]	282.83±0.76 [b]	304.33±1.04 [d]
อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (กรัม/ตัว/วัน)	1.74±0.01 [a]	2.01±0.01 [c]	1.89±0.01 [b]	2.03±0.01 [d]

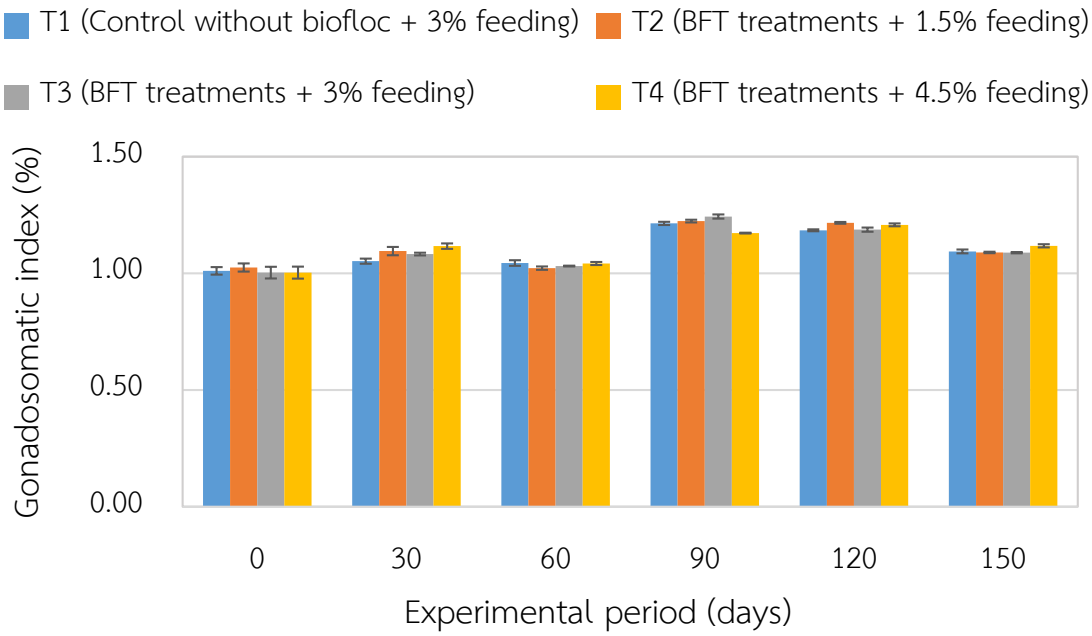
ปัจจัยเจริญเติบโต	ระบบการเลี้ยง			
	T1 (ระบบควบคุม+ให้อาหาร 3%)	T2 (ระบบไบโอฟลอค+ให้อาหาร 1.5%)	T3 (ระบบไบโอฟลอค+ให้อาหาร 3%)	T4 (ระบบไบโอฟลอค+ให้อาหาร 4.5%)
อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (เปอร์เซ็นต์/วัน)	1.28±0.01 [a]	1.35±0.01 [c]	1.32±0.01 [b]	1.36±0.01 [c]
อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (หน่วย)	2.35±0.02 [c]	1.10±0.01 [a]	2.27±0.02 [b]	3.37±0.01 [d]
อัตราการรอดตาย (เปอร์เซ็นต์)	51.23±1.18 [a]	81.19±1.00 [b]	86.99±0.32 [c]	85.01±0.60 [c]

หมายเหตุ : Mean ± S.E. ตัวอักษรที่ไม่เหมือนกันในแต่ละแถว แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

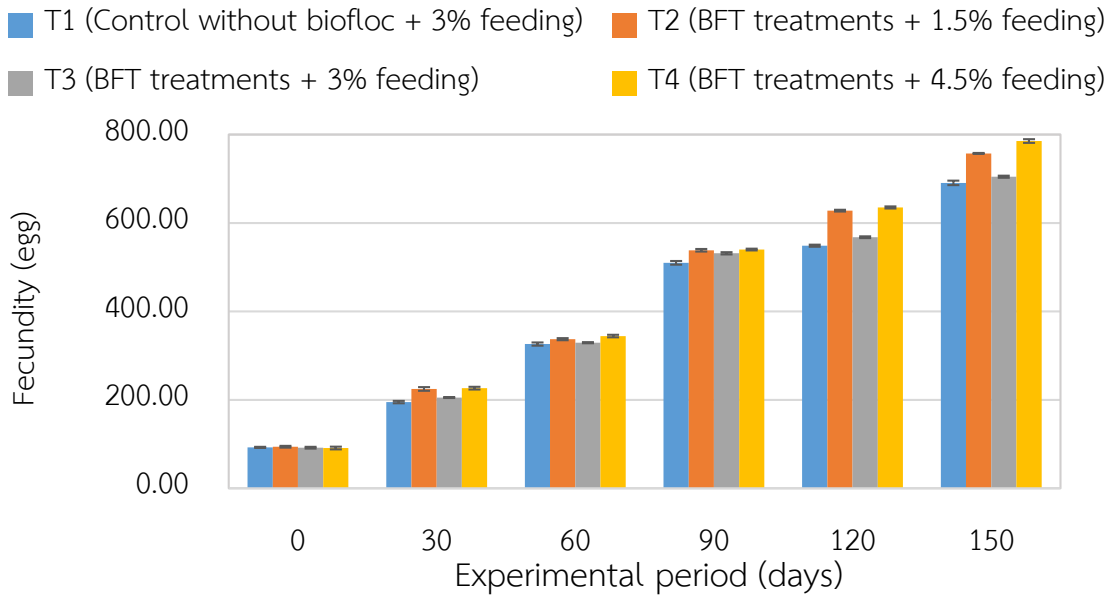
2. ดัชนีความสมบูรณ์เพศและความดกของไข่ปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคและระบบปิดแบบทั่วไป

ดัชนีความสมบูรณ์เพศของปลานิลแดงเพศเมียทั้ง 4 ชุดการทดลองมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน วันที่ 0 ของการทดลองไม่พบความแตกต่างระหว่าง 4 ชุดการทดลอง ปริมาณความดกของไข่ปลานิลแดงทั้ง 4 ชุดการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในวันที่ 30 ของการทดลองและมีค่าสูงสุดในวันที่ 90 ของการทดลอง ดัชนีความสมบูรณ์เพศของปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอค ให้อาหาร 4.5 เปอร์เซ็นต์ สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) มีค่าเท่ากับ 1.12±0.01 เปอร์เซ็นต์ ดังภาพที่ 24

ปริมาณความดกของไข่ปลานิลแดงทั้ง 4 ชุดการทดลองมีค่าเริ่มต้นอยู่ระหว่าง 91.33±0.01–94.00±1.15 ฟอง พบความแตกต่างทางสถิติ ในวันที่ 120 ของการทดลอง ปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคให้อาหาร 1.5 และ 4.5 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณความดกของไข่สูงกว่าปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบทั่วไปอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) มีค่าเท่ากับ 757.33±1.15-785.33±4.16 ฟอง ดังภาพที่ 25



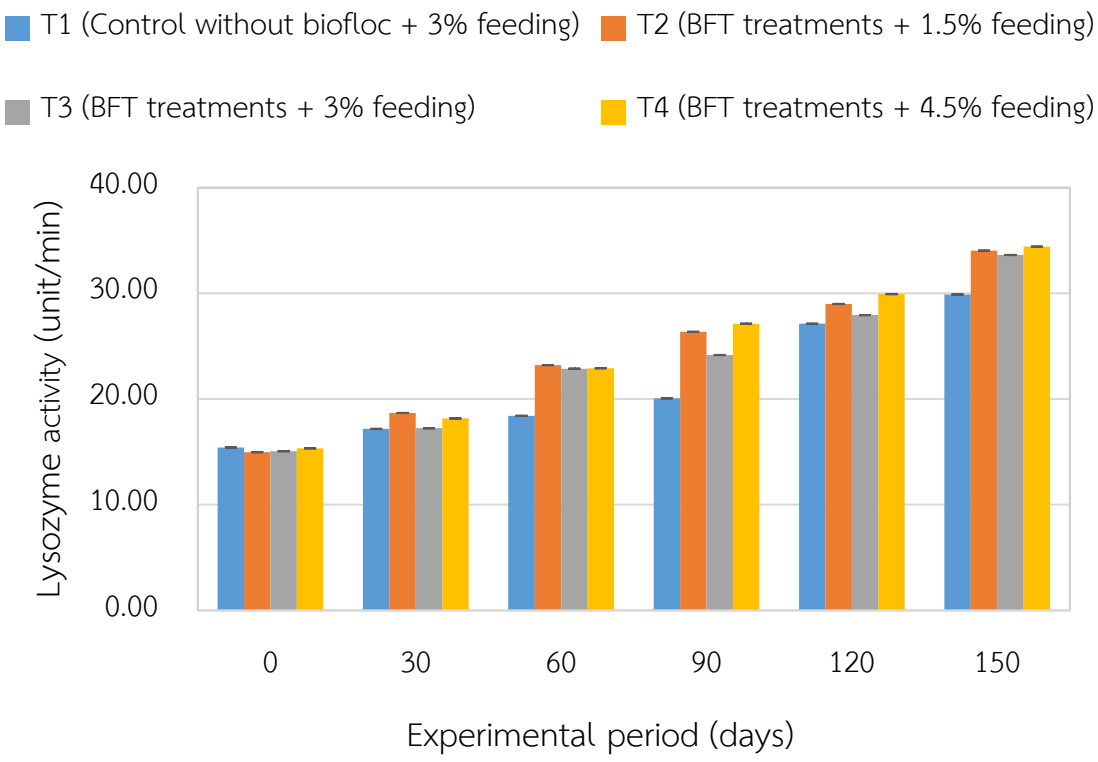
ภาพที่ 24 ดัชนีความสมบูรณ์เพศของไข่ปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคและระบบปิดแบบทั่วไป



ภาพที่ 25 ปริมาณความดกของไข่ปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคและระบบปิดแบบทั่วไป

3. ภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะ (lysozyme activity assay) ของปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคและระบบปิดแบบทั่วไป

ความสัมพันธ์ของอัตรารอดของปลานิลแดง กับค่าเฉลี่ยภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะ Lysozyme activity ของปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอค และระบบปิดแบบทั่วไป พบว่า เมื่อสิ้นสุดการทดลองปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคทั้ง 3 ชุดการทดลอง มีอัตรารอดสูงกว่าปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบทั่วไปอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) (ตารางที่ 3) แปรผันตามค่าของ Lysozyme activity ในวันที่ 0 ทั้ง 4 ชุดการทดลองไม่พบความแตกต่าง แต่เริ่มมีความแตกต่างในวันที่ 30 ของการทดลอง ปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคทั้ง 3 ชุดการทดลองมีค่าของ Lysozyme activity สูงกว่าปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบทั่วไปอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) และมีแนวโน้มสูงขึ้นจนสิ้นสุดการทดลอง ดังภาพที่ 26 และตารางที่ 4



ภาพที่ 26 ภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะ (lysozyme activity assay) ของปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคและระบบปิดแบบทั่วไป

ตารางที่ 4 ภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะ (lysozyme activity assay) ของปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคและระบบปิดแบบทั่วไป

วันที่ทำการทดลอง	ระบบการเลี้ยง			
	T1 (ระบบควบคุม+ให้อาหาร 3%)	**T2 (ระบบไบโอฟลอค+ให้อาหาร 1.5%)**	**T3 (ระบบไบโอฟลอค+ให้อาหาร 3%)**	**T4 (ระบบไบโอฟลอค+ให้อาหาร 4.5%)**
วันที่ 0	15.41±0.01^{d}	14.97±0.01^{a}	15.06±0.01^{b}	15.33±0.01^{c}
วันที่ 30	17.17±0.01^{a}	18.68±0.01^{d}	17.23±0.01^{b}	18.16±0.01^{c}
วันที่ 60	18.41±0.01^{a}	23.21±0.01^{d}	22.87±0.01^{b}	22.91±0.01^{c}
วันที่ 90	20.06±0.01^{a}	26.36±0.01^{c}	24.16±0.01^{b}	27.12±0.01^{d}
วันที่ 120	27.13±0.00^{a}	28.99±0.01^{c}	27.94±0.01^{b}	29.93±0.02^{d}
วันที่ 150	29.89±0.01^{a}	34.04±0.01^{c}	33.63±0.01^{b}	34.42±0.01^{d}

หมายเหตุ : Mean ± S.E. ตัวอักษรที่ไม่เหมือนกันในแต่ละแถว แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

4. คุณค่าทางโภชนาการในเนื้อปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคและระบบปิดแบบทั่วไป

คุณค่าทางโภชนาการในเนื้อของปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคและระบบปิดแบบทั่วไป พบว่าปริมาณเถ้า โปรตีน ความชื้น และคาร์โบไฮเดรตของทั้ง 4 ชุดการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกัน ขณะที่ปริมาณไขมันของเนื้อปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบทั่วไปให้อาหาร 3 เปอร์เซ็นต์ มีค่าสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) มีค่าเท่ากับ 1.03±0.10 เปอร์เซ็นต์ ส่วนเยื่อใยของทั้ง 4 ชุดการทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 คุณค่าทางโภชนาการในเนื้อปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคและระบบปิดแบบทั่วไป

พารามิเตอร์ในการศึกษา (เปอร์เซ็นต์ %)	ระบบปิด			
	T1 (ระบบควบคุม+ให้อาหาร 3%)	T2 (ระบบไบโอฟลอค+ให้อาหาร 1.5%)	T3 (ระบบไบโอฟลอค+ให้อาหาร 3%)	T4 (ระบบไบโอฟลอค+ให้อาหาร 4.5%)
โปรตีน	55.06±0.47	55.02±0.36	55.24±0.63	55.45±0.70
ไขมัน	1.03±0.10 [b]	0.17±0.29 [a]	0.26±0.02 [ab]	0.34±0.05 [ab]
เยื่อใย	1.17±0.08 [ab]	1.03±0.03 [a]	1.74±0.30 [b]	1.39±0.04 [ab]
เถ้า	1.45±0.13	1.48±0.01	1.85±0.39	1.81±0.06
ความชื้น	20.11±0.12	20.52±0.51	20.03±0.08	20.33±0.64
คาร์โบไฮเดรต	21.47±0.33	21.48±0.35	21.78±0.50	21.82±0.97

หมายเหตุ : Mean ± S.E. ตัวอักษรที่ไม่เหมือนกันในแต่ละแถว แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

5. ปริมาณโลหะหนักในเนื้อของปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคและระบบปิดแบบทั่วไป

ปริมาณโลหะหนักในเนื้อปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอค และระบบปิดแบบทั่วไป พบ ปริมาณปรอทในเนื้อปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอค ให้อาหารสูตรปลอดภัย 1.5, 3 และ 4.5 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 0.030, 0.024 และ0.028 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนปริมาณแคทเมียม และตะกั่ว ไม่พบในเนื้อปลานิลแดงของทั้ง 4 ชุดการทดลอง ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ปริมาณโลหะหนัก (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ที่พบในเนื้อปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอค และระบบปิดแบบทั่วไป

พารามิเตอร์ในการศึกษา (มิลลิกรัมกิโลกรัม/)	ระบบปิด			
	T1 (ระบบควบคุม+ให้อาหาร 3%)	T2 (ระบบไบโอฟลอค+ให้อาหาร 1.5%)	T3 (ระบบไบโอฟลอค+ให้อาหาร 3%)	T4 (ระบบไบโอฟลอค+ให้อาหาร 4.5%)
แคทเมียม (Cd)	0.000	0.000	0.000	0.000
ตะกั่ว (Pb)	0.000	0.000	0.000	0.000
ปรอท (Hg)	0.000	0.030	0.024	0.028

หมายเหตุ : Mean ± S.E.

6. คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมี ในบ่อเลี้ยงปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคและระบบปิดแบบทั่วไป

6.1 อุณหภูมิน้ำในบ่อเลี้ยงปลานิลแดงทั้ง 4 ชุดการทดลองมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 23.33±0.01 - 24.33±0.01 องศาเซลเซียส ซึ่งทั้ง 4 ชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกัน ดังภาพที่ 27 และ 28

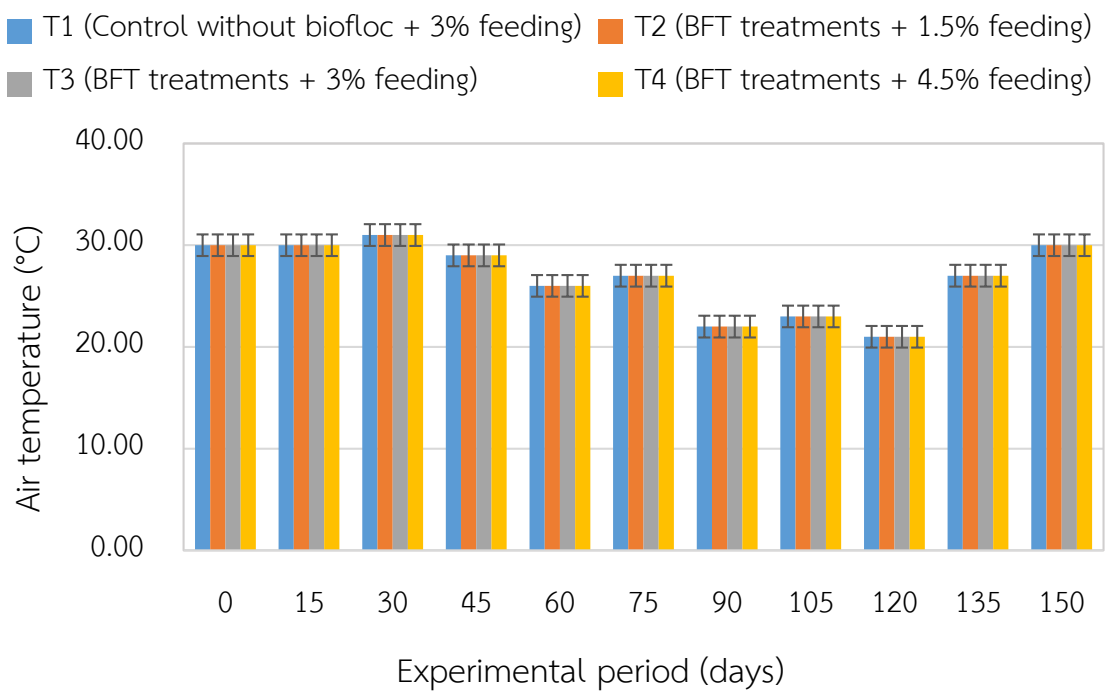
6.2 ค่าความเป็นกรด–ด่าง (pH) พบว่า pH ในบ่อที่เลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบทั่วไปให้อาหาร 3 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.63±0.01 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในวันที่ 75 – 150 ของการทดลอง ซึ่งมีความต่างแตกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับ pH ในบ่อที่เลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคให้อาหาร 1.5, 3 และ 4.5 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.25±0.01, 8.25±0.01 และ 8.22±0.01 ตามลำดับ ซึ่งมีแนวโน้มลดลงในวันที่ 75 – 150 ของการทดลอง ดังภาพที่ 29

6.3 ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) พบว่าทั้ง 4 ชุดการทดลองมีค่าระหว่าง 6.90±0.01 - 6.97±0.06 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งทั้ง 4 ชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกัน ดังภาพที่ 30

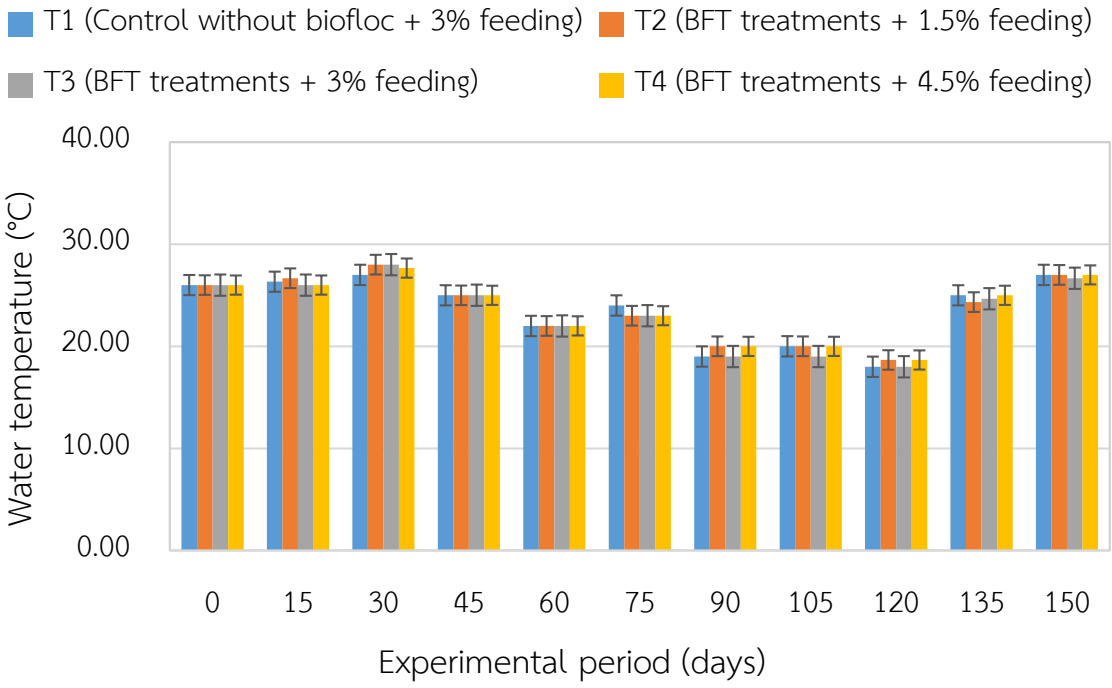
6.4 ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (NH_3-N) พบว่าทั้ง 4 ชุดการทดลองมีความแตกต่างกันทางสิถิติ ($p<0.05$) (Table 3) และในวันที่ 30 – 150 ของการทดลองพบว่า ปริมาณ NH_3-N ในบ่อที่เลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคให้อาหาร 1.5, 3 และ 4.5 เปอร์เซ็นต์ มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังภาพที่ 31

6.5 ปริมาณไนไตร์ท-ไนโตรเจน ($N0^{-}_{2}$-N) พบว่าในบ่อที่เลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคให้อาหาร 1.5, 3 และ 4.5 เปอร์เซ็นต์ มีค่าสูงกว่าในบ่อที่เลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบทั่วไปให้อาหาร 3 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังภาพที่ 32 ส่วนปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน ($N0^{-}_{3}$-N) พบว่าในบ่อที่เลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบทั่วไปให้อาหาร 3 เปอร์เซ็นต์ มีค่าสูงกว่าในบ่อที่เลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคให้อาหาร 1.5, 3 และ 4.5 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังภาพที่ 33

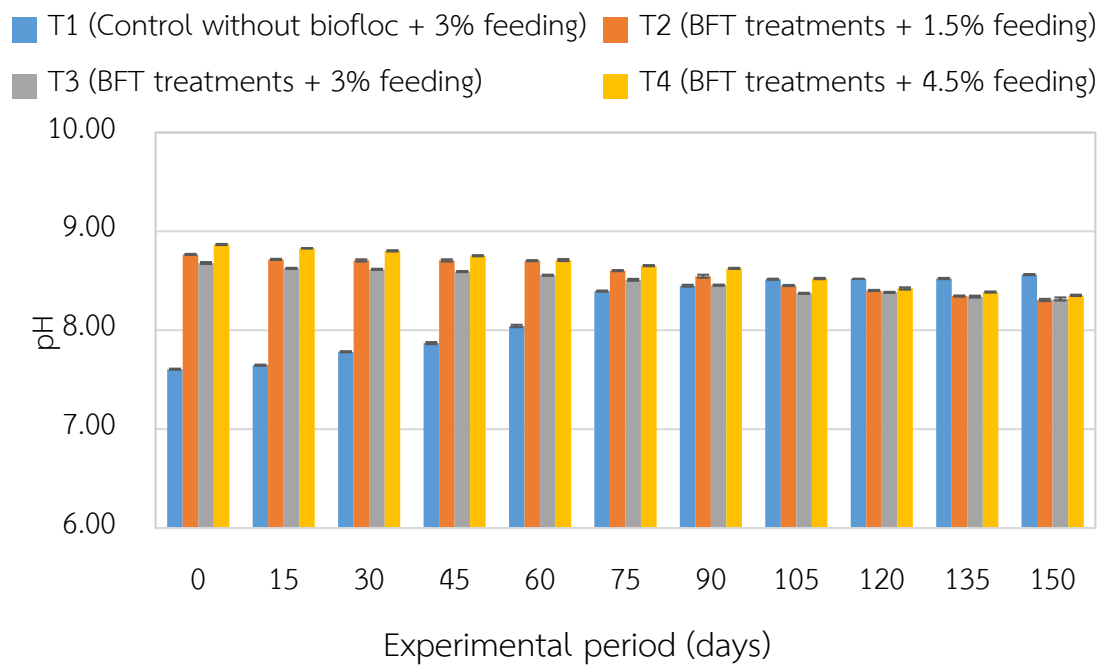
6.6 ปริมาณออร์โธฟอสเฟส-ฟอสฟอรัส (PO_4^{3-}-P) พบว่าในบ่อที่เลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบไบโอ-ฟลอคให้อาหาร 1.5, 3 และ 4.5 เปอร์เซ็นต์ มีค่าสูงกว่าบ่อที่เลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบทั่วไปให้อาหาร 3 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังภาพที่ 34



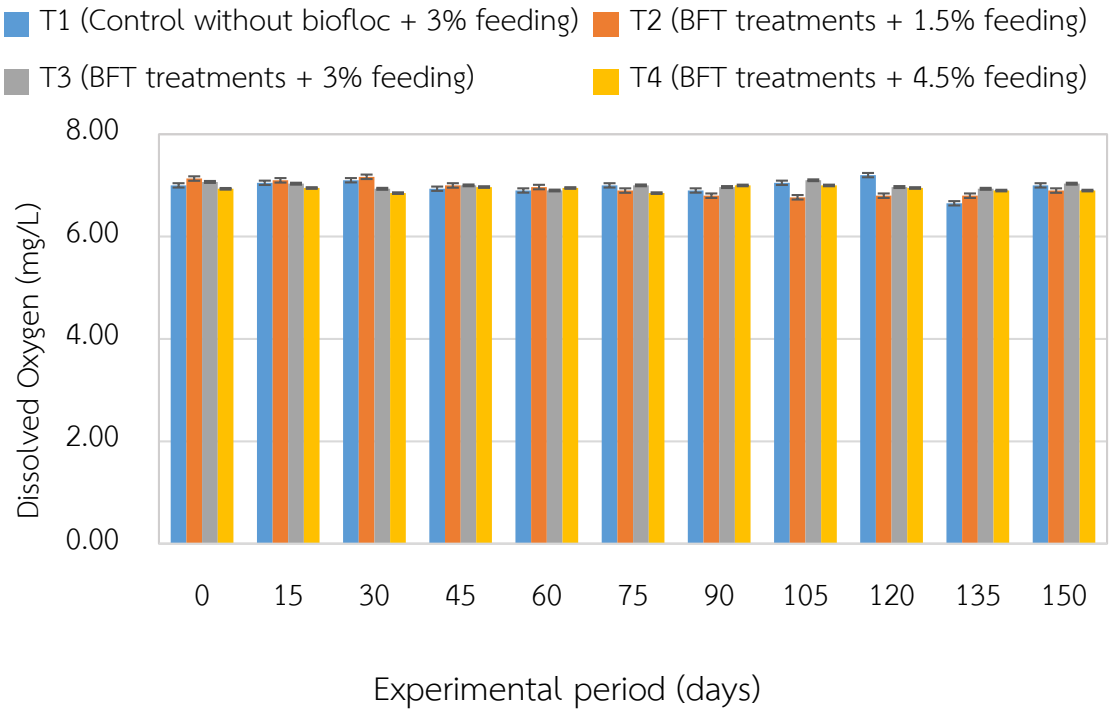
ภาพที่ 27 อุณหภูมิอากาศของบ่อที่เลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบไบโอฟลอค และระบบปิดแบบทั่วไป ระยะเวลา 150 วัน



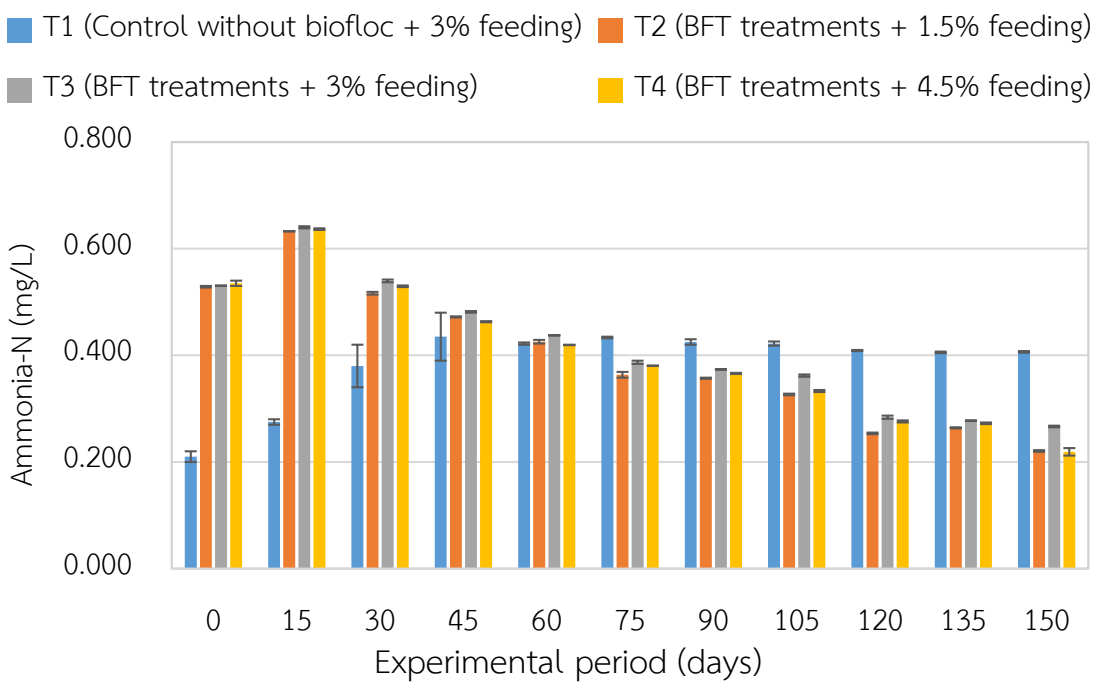
ภาพที่ 28 อุณหภูมิน้ำของบ่อที่เลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบไบโอฟลอค และระบบปิดแบบทั่วไป ระยะเวลา 150 วัน



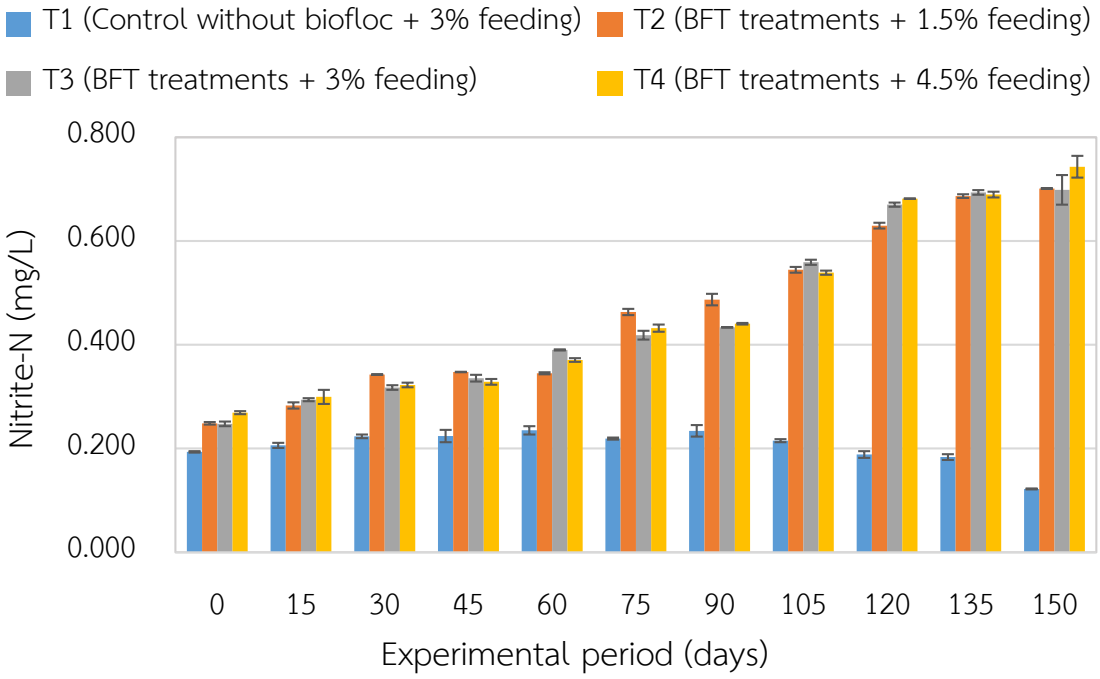
ภาพที่ 29 ค่าความเป็นกรด-ด่างของบ่อที่เลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบไบโอฟลอค และระบบปิดแบบทั่วไป ระยะเวลา 150 วัน



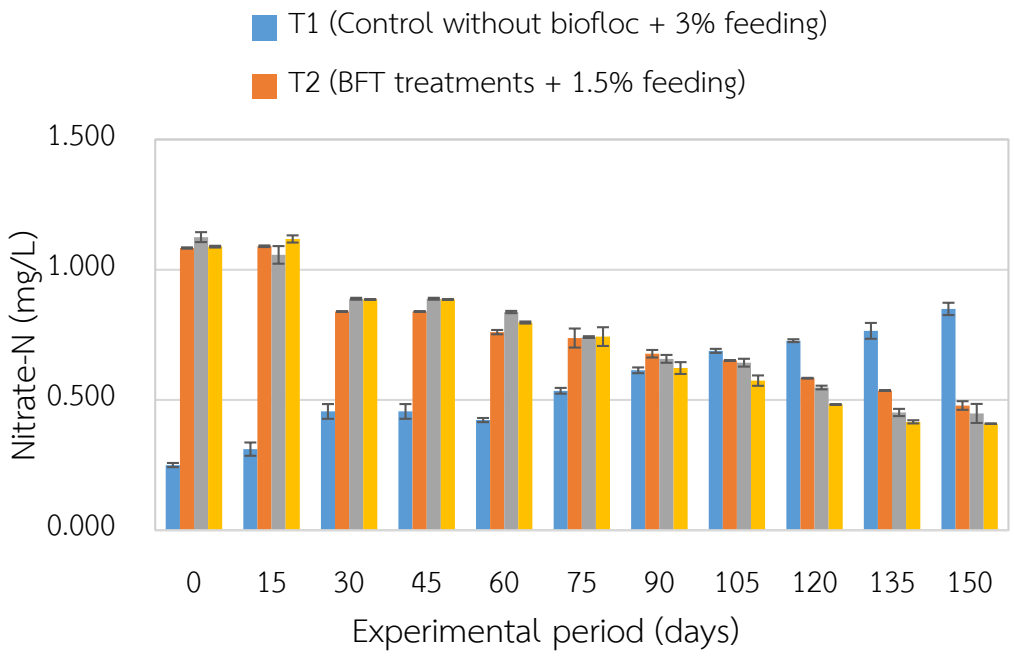
ภาพที่ 30 ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำของบ่อที่เลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบไบโอฟลอค และระบบปิดแบบทั่วไป ระยะเวลา 150 วัน



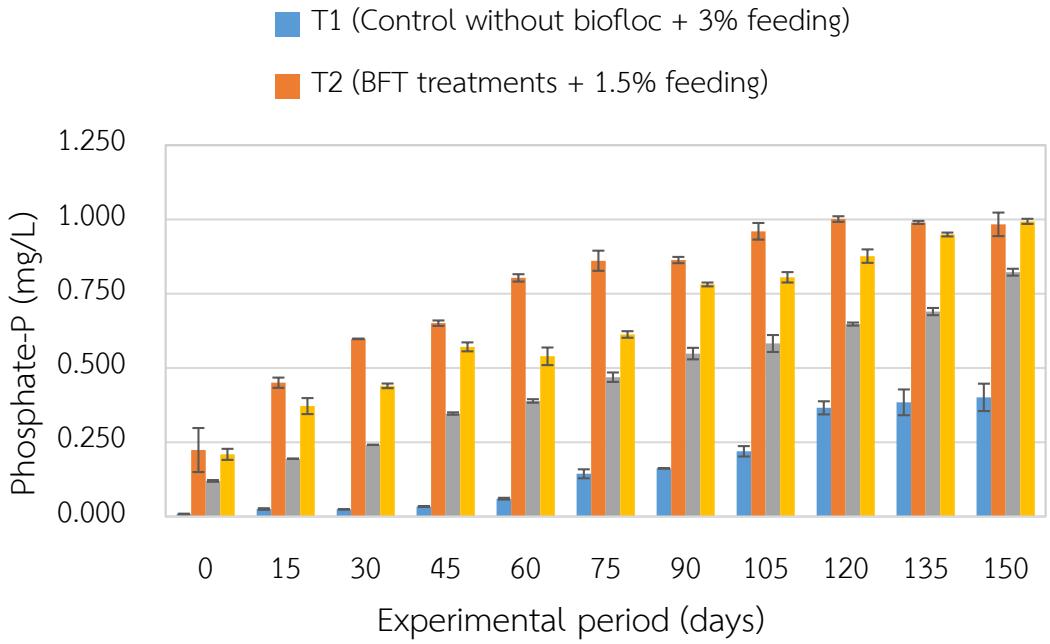
ภาพที่ 31 ค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจนของบ่อที่เลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบไบโอฟลอค และระบบปิดแบบทั่วไป ระยะเวลา 150 วัน



ภาพที่ 32 ค่าไนไตรท์-ไนโตรเจนของบ่อที่เลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบไบโอฟลอค และระบบปิดแบบทั่วไป ระยะเวลา 150 วัน



ภาพที่ 33 ค่าไนเตรท-ไนโตรเจนของบ่อที่เลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบไบโอฟลอค และระบบปิดแบบทั่วไป ระยะเวลา 150 วัน



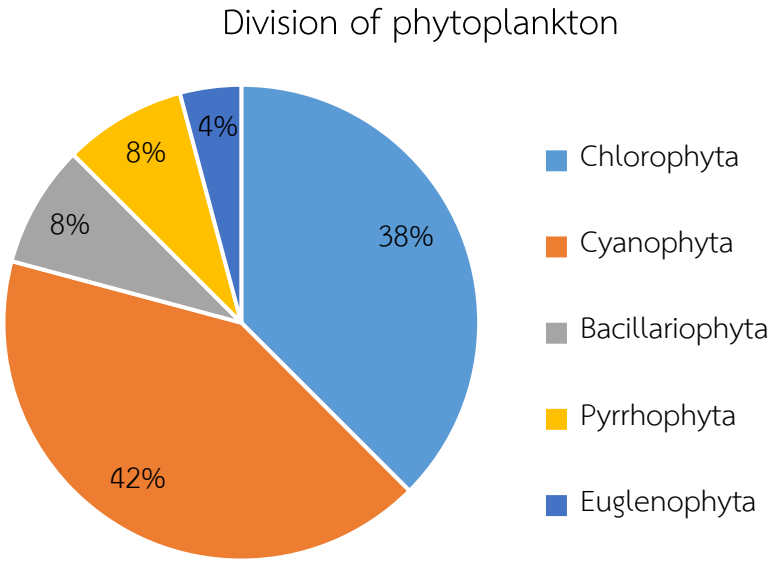
ภาพที่ 34 ค่าออร์โธฟอสเฟส-ฟอสฟอรัสของบ่อที่เลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบไบโอฟลอค และระบบปิดแบบทั่วไป ระยะเวลา 150 วัน

7. ความหลากหลายของแพลงก์ตอนพืชและแพลงก์ตอนสัตว์ที่พบ ในบ่อเลี้ยงปลานิลแดงระบบปิดแบบไบโอฟลอคและระบบปิดแบบทั่วไป

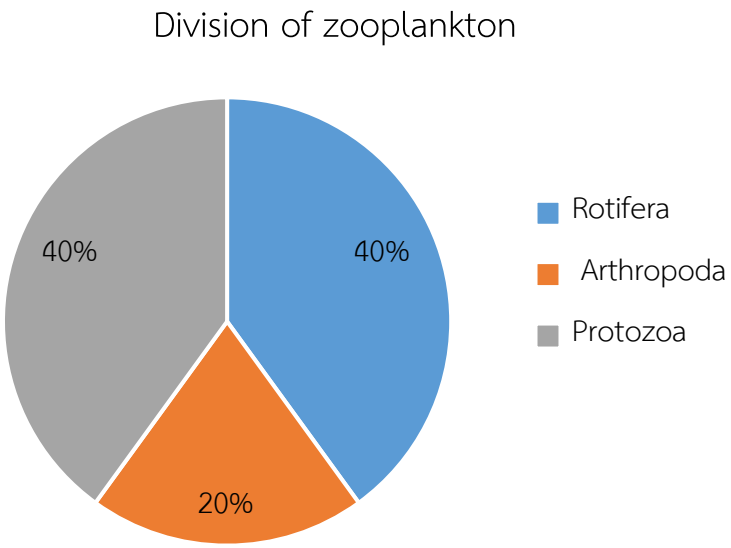
บ่อปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบทั่วไปให้อาหารสูตรปลอดภัย 3 เปอร์เซ็นต์ พบแพลงก์ตอนพืชทั้งหมด 5 ดิวิชั่น คือ Cyanophyta พบ 10 ชนิด คิดเป็น 42 เปอร์เซ็นต์ Chlorophyta พบ 9 ชนิด คิดเป็น 38 เปอร์เซ็นต์ Bacillariophyta พบ 2 ชนิด คิดเป็น 8 เปอร์เซ็นต์ Euglenophyta พบ 1 ชนิด คิดเป็น 4 เปอร์เซ็นต์ และ Pyrrhophyta พบ 2 ชนิด คิดเป็น 8 เปอร์เซ็นต์ ดังภาพที่ 35

ส่วนแพลงก์ตอนสัตว์พบทั้งหมด 3 ดิวิชั่น คือ Rotifera พบ 2 ชนิด คิดเป็น 40 เปอร์เซ็นต์ Arthropoda พบ 1 ชนิด คิดเป็น 20 เปอร์เซ็นต์ และ Protozoa พบ 2 ชนิด คิดเป็น 40 เปอร์เซ็นต์ ดังภาพที่ 36

มวลชีวภาพของแพลงก์ตอนพืช ดิวิชั่น Cyanophyta เท่ากับ 0.33 ± 0.02 ไมโครลิตร/ลิตร Chlorophyta เท่ากับ 0.71 ± 0.02 ไมโครลิตร/ลิตร Bacillariophyta เท่ากับ 0.08 ± 0.01 ไมโครลิตร/ลิตร Euglenophyta 0.05 ± 0.01 ไมโครลิตร/ลิตร และ Pyrrhophyta เท่ากับ 0.09 ± 0.01 ไมโครลิตร/ลิตร ส่วนมวลชีวภาพของแพลงก์ตอนสัตว์ ดิวิชั่น Rotifera เท่ากับ 1.79 ± 0.01 ไมโครลิตร/ลิตร Arthropoda 0.87 ± 0.01 ไมโครลิตร/ลิตร และ Protozoa เท่ากับ 2.24 ± 0.01 ไมโครลิตร/ลิตร ดังภาพที่ 43



ภาพที่ 35 ความหลากหลายของแพลงก์ตอนพืชในบ่อเลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบแบบทั่วไป ให้อาหารสูตรปลอดภัย 3 เปอร์เซ็นต์

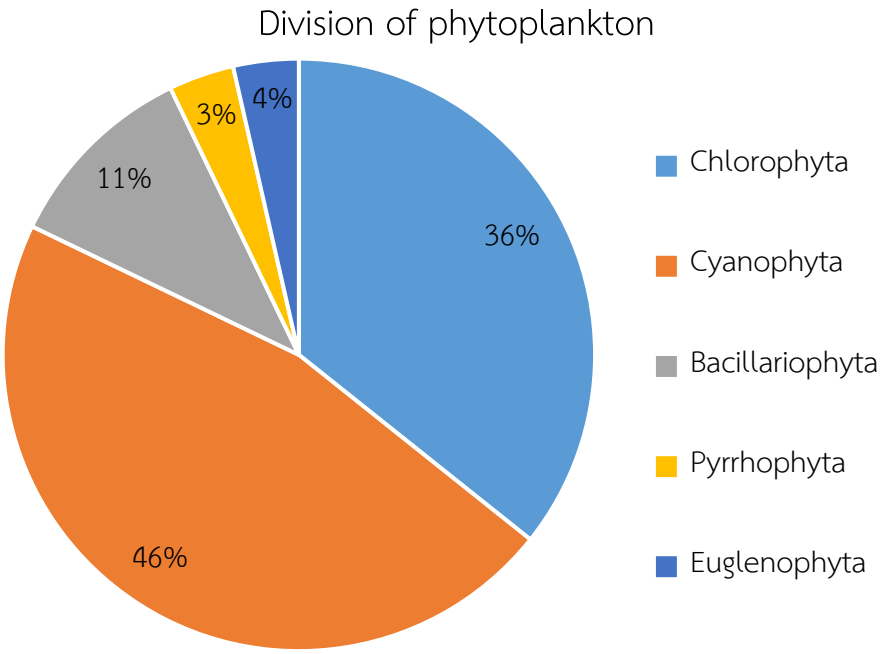


ภาพที่ 36 ความหลากหลายของแพลงก์ตอนสัตว์ในบ่อเลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบทั่วไป ให้อาหารสูตรปลอดภัย 3 เปอร์เซ็นต์

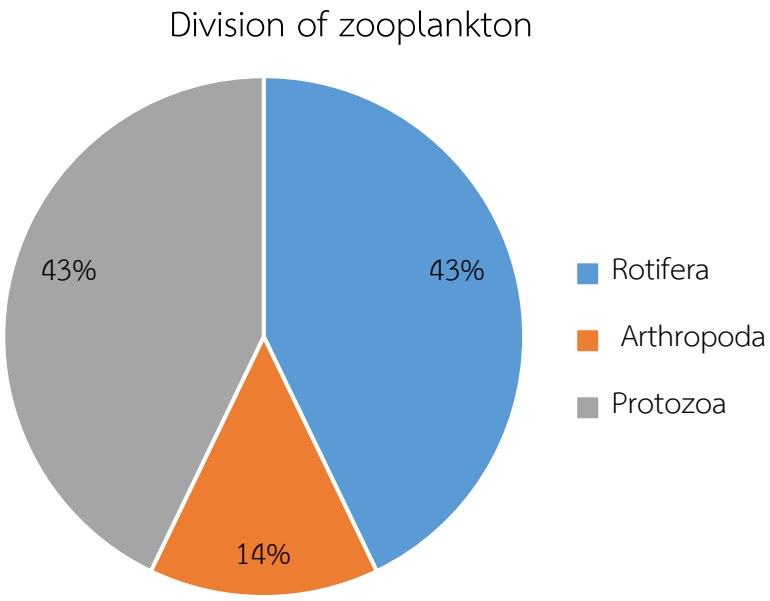
ในบ่อปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอค ให้อาหารสูตรปลอดภัย 1.5 เปอร์เซ็นต์ พบแพลงก์ตอนพืชทั้งหมด 5 ดิวิชั่น คือ Cyanophyta พบ 13 ชนิด คิดเป็น 46 เปอร์เซ็นต์ Chlorophyta พบ 10 ชนิด คิดเป็น 36 เปอร์เซ็นต์ Bacillariophyta พบ 3 ชนิด คิดเป็น 11 เปอร์เซ็นต์ Euglenophyta พบ 1 ชนิด คิดเป็น 4 เปอร์เซ็นต์ และ Pyrrhophyta พบ 1 ชนิด คิดเป็น 3 เปอร์เซ็นต์ ดังภาพที่ 37

ส่วนแพลงก์ตอนสัตว์พบทั้งหมด 3 ดิวิชั่น คือ Rotifera พบ 3 ชนิด คิดเป็น 43 เปอร์เซ็นต์ Arthropoda พบ 1 ชนิด คิดเป็น 14 เปอร์เซ็นต์ และ Protozoa พบ 3 ชนิด คิดเป็น 43 เปอร์เซ็นต์ ดังภาพที่ 38

มวลชีวภาพของแพลงก์ตอนพืช ดิวิชั่น Cyanophyta เท่ากับ 0.56 ± 0.01 ไมโครลิตร/ลิตร Chlorophyta เท่ากับ 0.81 ± 0.01 ไมโครลิตร/ลิตร Bacillariophyta เท่ากับ 0.09 ± 0.01 ไมโครลิตร/ลิตร Euglenophyta 0.06 ± 0.01 ไมโครลิตร/ลิตร และ Pyrrhophyta เท่ากับ 0.03 ± 0.01 ไมโครลิตร/ลิตร ส่วนมวลชีวภาพของแพลงก์ตอนสัตว์ ดิวิชั่น Rotifera เท่ากับ 2.18 ± 0.03 ไมโครลิตร/ลิตร Arthropoda 1.30 ± 0.01 ไมโครลิตร/ลิตร และ Protozoa เท่ากับ 2.41 ± 0.01 ไมโครลิตร/ลิตร ดังภาพที่ 43



ภาพที่ 37 ความหลากหลายของแพลงก์ตอนพืชในบ่อเลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบไบโอฟลอค ให้อาหารสูตรปลอดภัย 1.5 เปอร์เซ็นต์

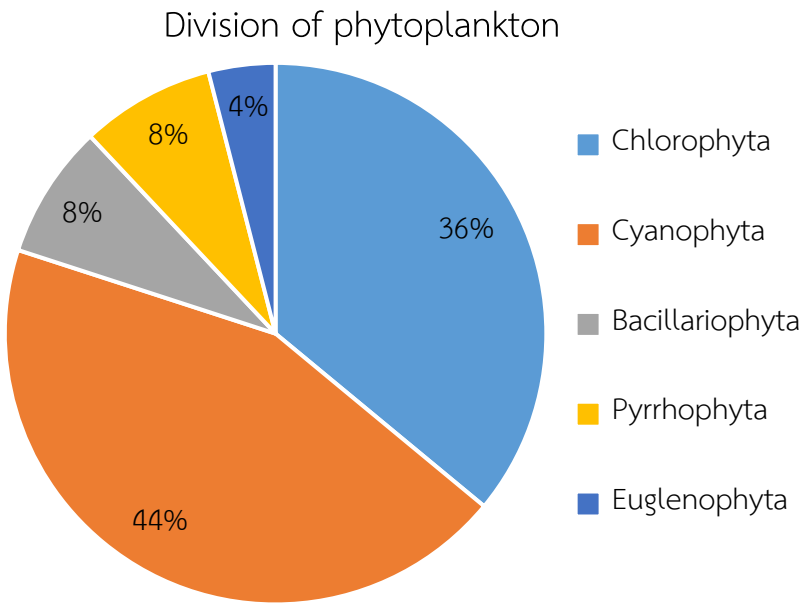


ภาพที่ 38 ความหลากหลายของแพลงก์ตอนสัตว์ในบ่อเลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบไบโอฟลอค ให้อาหารสูตรปลอดภัย 1.5 เปอร์เซ็นต์

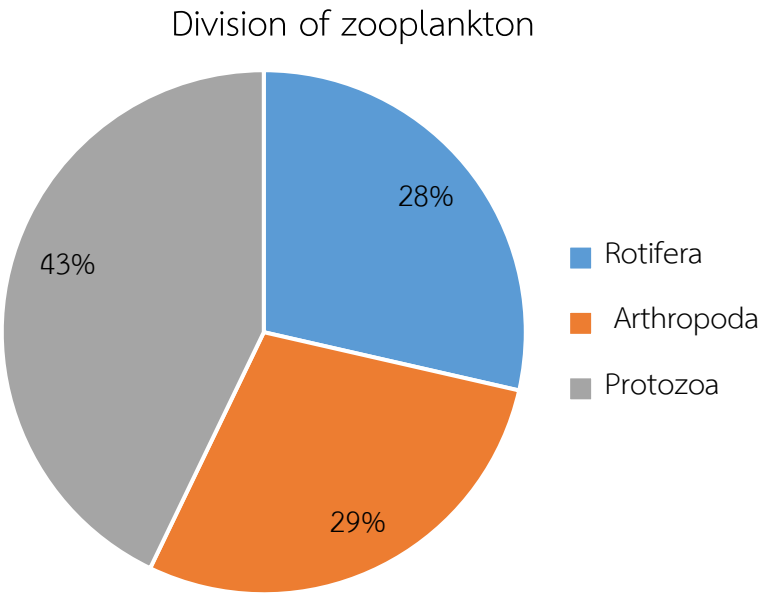
บ่อปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอค ให้อาหารสูตรปลอดภัย 3 เปอร์เซ็นต์พบแพลงก์ตอนพืชทั้งหมด 5 ดิวิชั่น คือ Cyanophyta พบ 11 ชนิด คิดเป็น 44 เปอร์เซ็นต์ Chlorophyta พบ 9 ชนิด คิดเป็น 36 เปอร์เซ็นต์ Bacillariophyta พบ 2 ชนิด คิดเป็น 8 เปอร์เซ็นต์ Euglenophyta พบ 1 ชนิด คิดเป็น 4 เปอร์เซ็นต์ และ Pyrrhophyta พบ 2 ชนิด คิดเป็น 8 เปอร์เซ็นต์ ดังภาพที่ 39

ส่วนแพลงก์ตอนสัตว์พบทั้งหมด 3 ดิวิชั่น คือ Rotifera พบ 2 ชนิด คิดเป็น 28 เปอร์เซ็นต์ Arthropoda พบ 2 ชนิด คิดเป็น 29 เปอร์เซ็นต์ และ Protozoa พบ 3 ชนิด คิดเป็น 43 เปอร์เซ็นต์ ดังภาพที่ 40

มวลชีวภาพของแพลงก์ตอนพืช ดิวิชั่น Cyanophyta เท่ากับ 0.41 ± 0.01 ไมโครลิตร/ลิตร Chlorophyta เท่ากับ 0.71 ± 0.01 ไมโครลิตร/ลิตร Bacillariophyta เท่ากับ 0.13 ± 0.01 ไมโครลิตร/ลิตร Euglenophyta 0.06 ± 0.01 ไมโครลิตร/ลิตร และ Pyrrhophyta เท่ากับ 0.10 ± 0.01 ไมโครลิตร/ลิตร ส่วนมวลชีวภาพของแพลงก์ตอนสัตว์ ดิวิชั่น Rotifera เท่ากับ 2.17 ± 0.02 ไมโครลิตร/ลิตร Arthropoda 0.87 ± 0.01 ไมโครลิตร/ลิตร และ Protozoa เท่ากับ 2.81 ± 0.01 ไมโครลิตร/ลิตร ดังภาพที่ 43



ภาพที่ 39 ความหลากหลายของแพลงก์ตอนพืชในบ่อเลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบไบโอฟลอค ให้อาหารสูตรปลอดภัย 3 เปอร์เซ็นต์

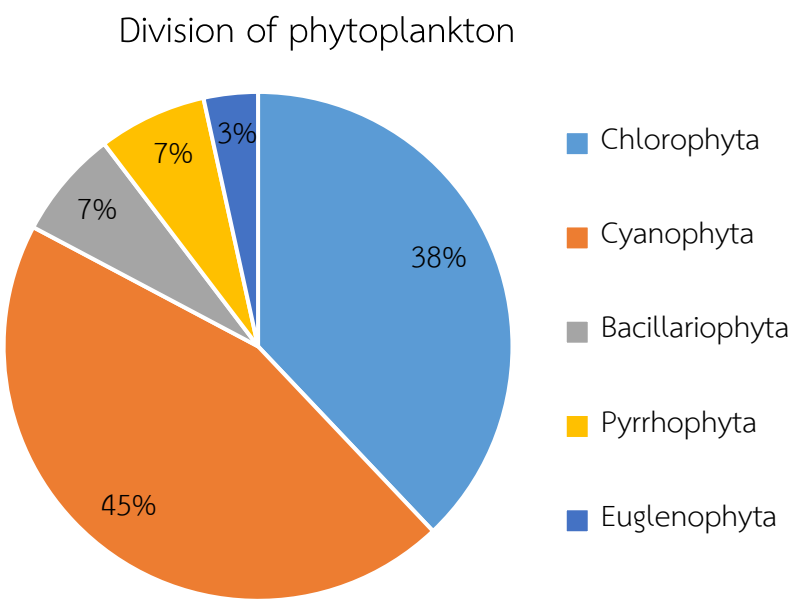


ภาพที่ 40 ความหลากหลายของแพลงก์ตอนสัตว์ในบ่อเลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบไบโอฟลอค ให้อาหารสูตรปลอดภัย 3 เปอร์เซ็นต์

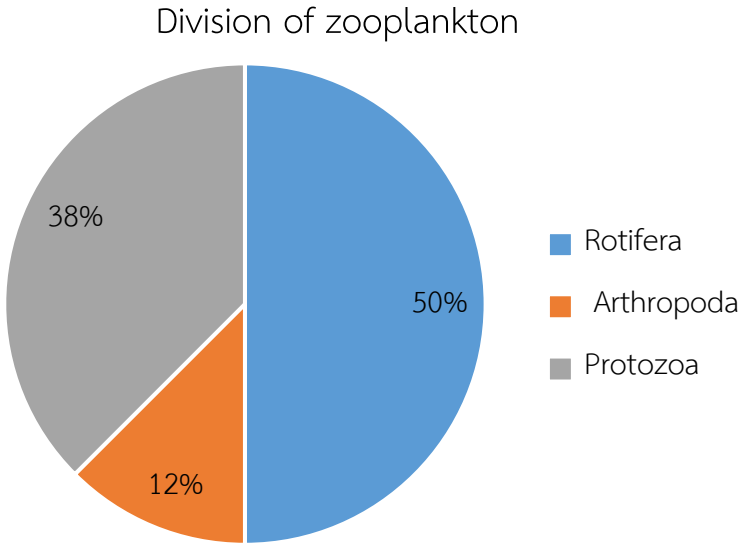
บ่อปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอค ให้อาหารสูตรปลอดภัย 4.5 เปอร์เซ็นต์ พบแพลงก์ตอนพืชทั้งหมด 5 ดิวิชั่น คือ Cyanophyta พบ 13 ชนิด คิดเป็น 45 เปอร์เซ็นต์ Chlorophyta พบ 11 ชนิด คิดเป็น 38 เปอร์เซ็นต์ Bacillariophyta พบ 2 ชนิด คิดเป็น 7 เปอร์เซ็นต์ Euglenophyta พบ 1 ชนิด คิดเป็น 3 เปอร์เซ็นต์ และ Pyrrhophyta พบ 2 ชนิด คิดเป็น 7 เปอร์เซ็นต์ ดังภาพที่ 41

ส่วนแพลงก์ตอนสัตว์พบทั้งหมด3 ดิวิชั่น คือ Rotifera พบ 4 ชนิด คิดเป็น 50 เปอร์เซ็นต์ Arthropoda พบ 1 ชนิด คิดเป็น 12 เปอร์เซ็นต์ และ Protozoa พบ 3 ชนิด คิดเป็น 38 เปอร์เซ็นต์ ดังภาพที่ 42

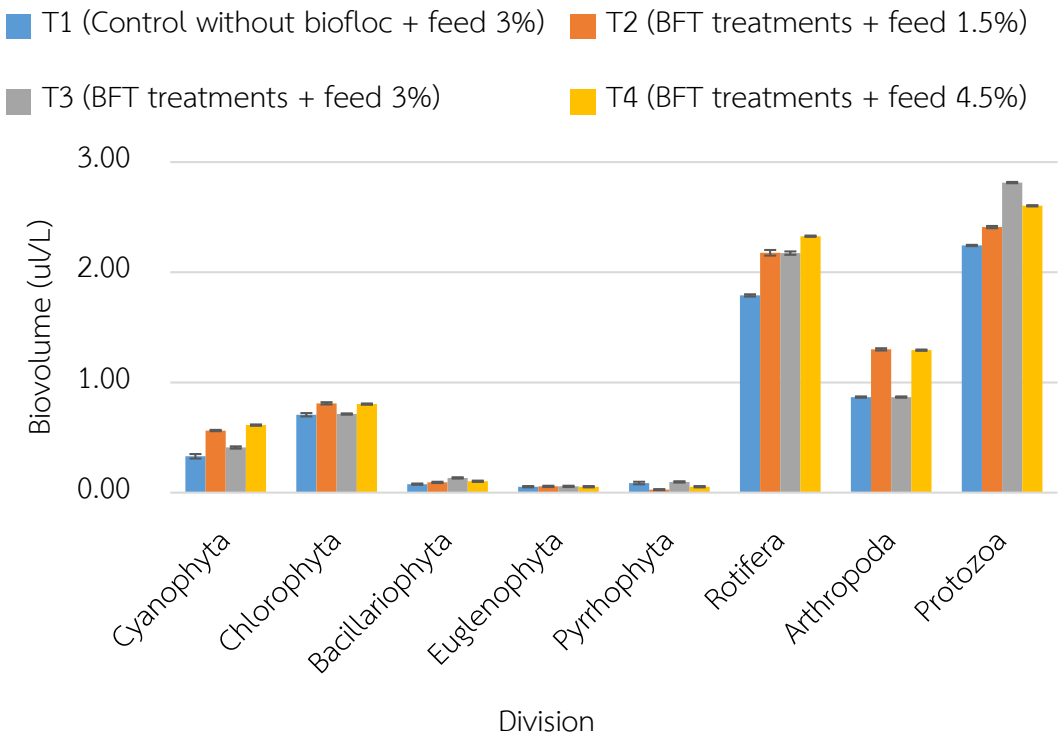
มวลชีวภาพของแพลงก์ตอนพืช ดิวิชั่น Cyanophyta เท่ากับ 0.61 ± 0.01 ไมโครลิตร/ลิตร Chlorophyta เท่ากับ 0.80 ± 0.01 ไมโครลิตร/ลิตร Bacillariophyta เท่ากับ 0.10 ± 0.01 ไมโครลิตร/ลิตร Euglenophyta 0.05 ± 0.01 ไมโครลิตร/ลิตร และ Pyrrhophyta เท่ากับ 0.05 ± 0.01 ไมโครลิตร/ลิตร ส่วนมวลชีวภาพของแพลงก์ตอนสัตว์ดิวิชั่น Rotifera เท่ากับ 2.33 ± 0.03 ไมโครลิตร/ลิตร Arthropoda 1.29 ± 0.01 ไมโครลิตร/ลิตร และ Protozoa เท่ากับ 2.60 ± 0.01 ไมโครลิตร/ลิตร ดังภาพที่ 43



ภาพที่ 41 ความหลากหลายของแพลงก์ตอนพืชในบ่อเลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบไบโอฟลอค ให้อาหารสูตรปลอดภัย 4.5 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 42 ความหลากหลายของแพลงก์ตอนสัตว์ในบ่อเลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบไบโอฟลอค ให้อาหารสูตรปลอดภัย 4.5 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 43 มวลชีวภาพของแพลงก์ตอนพืชและสัตว์ในบ่อที่เลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคและระบบปิดแบบทั่วไป

แพลงก์ตอนพืชในดิวิชั่น Cyanophyta ที่พบ คือ *Spirulina arthrospira* (ภาพที่ 44a) *Oscillatoria* sp. (ภาพที่ 44b) และ *Raphidiopsis* sp. (ภาพที่ 44c) เป็นต้น

แพลงก์ตอนพืชในดิวิชั่น Chlorophyta ที่พบ คือ *Scenedesmus acuminatus* (ภาพที่ 45a) *Scenedesmus opoliensis* (ภาพที่ 45b) และ *Scenedesmus perforates* (ภาพที่ 45c) เป็นต้น

แพลงก์ตอนพืชในดิวิชั่น Bacillariophyta ที่พบ คือ *Cyclotella* sp. (ภาพที่ 46a) *Synedra* sp. (ภาพที่ 46b) *Nitzschia palea* (ภาพที่ 46c) เป็นต้น

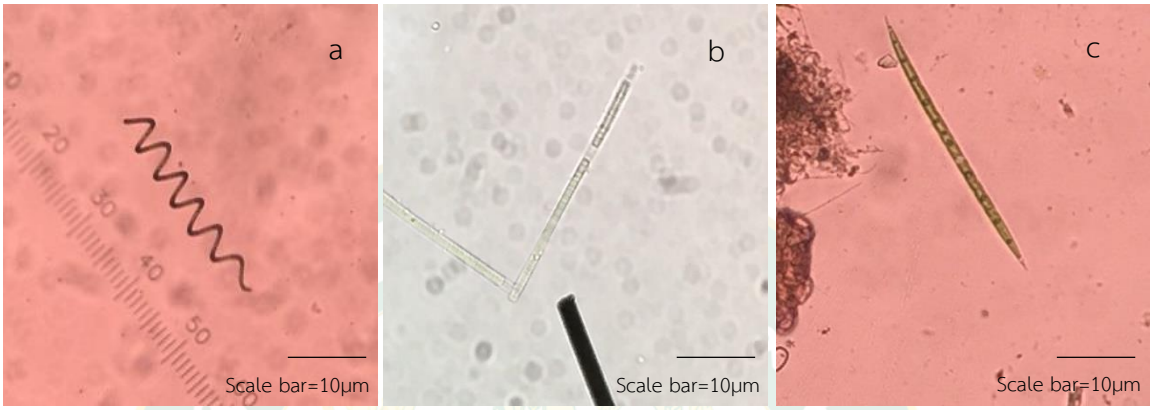
แพลงก์ตอนพืชในดิวิชั่น Euglenophyta ที่พบ คือ *Peranema* sp. (ภาพที่ 47a) และ *Trachelomonas* sp. (ภาพที่ 47b) เป็นต้น

แพลงก์ตอนพืชในดิวิชั่น Pyrrhophyta ที่พบ คือ *Peridiniumum* sp. (ภาพที่ 48a) และ *Gymnodinium* sp. (ภาพที่ 48b)

แพลงก์ตอนสัตว์ในดิวิชั่น Rotifera ที่พบ คือ *Brachionus rubens* (ภาพที่ 49a) *Brachionus* sp. (ภาพที่ 49b) และ *Trichocerca* sp. (ภาพที่ 49c)

แพลงก์ตอนสัตว์ใน ดิวิชั่น Arthropoda ที่พบ คือ *Cladocerra* sp. (ภาพที่ 50a) และ *Copepoda* sp. (ภาพที่ 50b)

แพลงก์ตอนสัตว์ใน ดิวิชั่น Protozoa ที่พบ คือ *Coleps* sp. (ภาพที่ 51a) และ *Vorticella* sp. (ภาพที่ 51b)

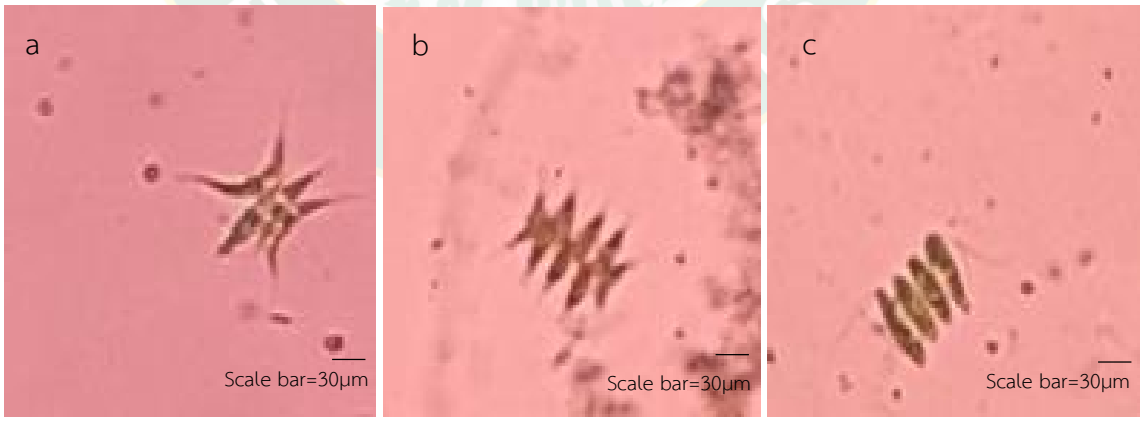


ภาพที่ 44 แพลงก์ตอนพืชใน ดิวิชั่น *Cyanophyta*

a: Spirulina arthrospira

b: Oscillatoria *sp.*

C: Raphidiopsis *sp.*

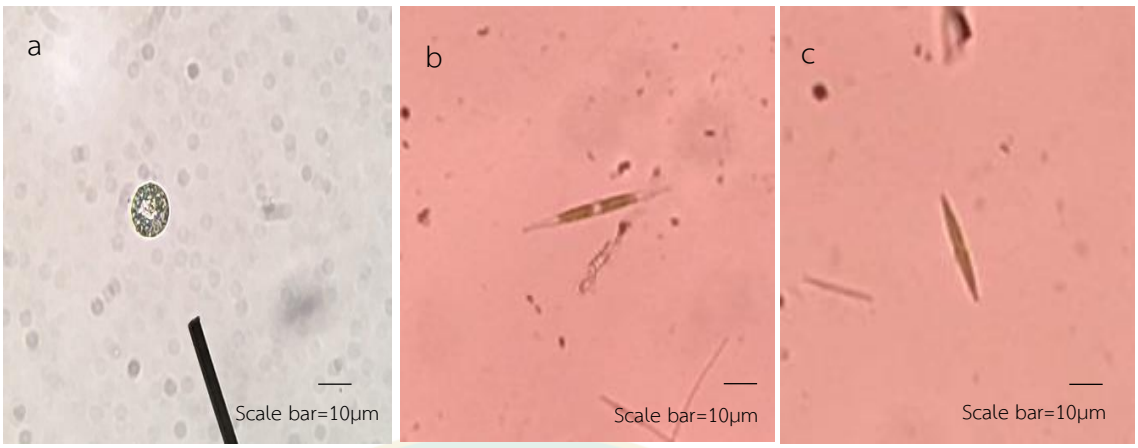


ภาพที่ 45 แพลงก์ตอนพืชใน ดิวิชั่น *Chlorophyta*

a: Scenedesmus acuminatus

b: Scenedesmus opoliensis

c: Scenedesmus perforates

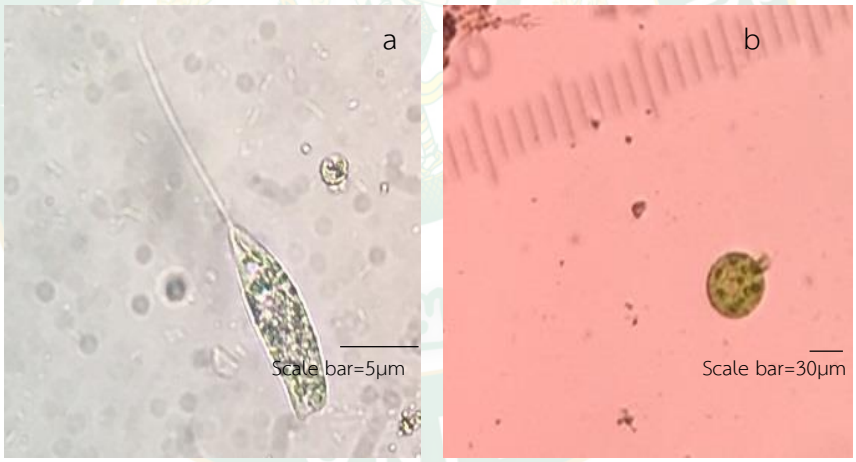


ภาพที่ 46 แพลงก์ตอนพืชใน ดิวิชั่น *Bacillariophyta*

a: *Cyclotella* sp.

b: *Synedra* sp.

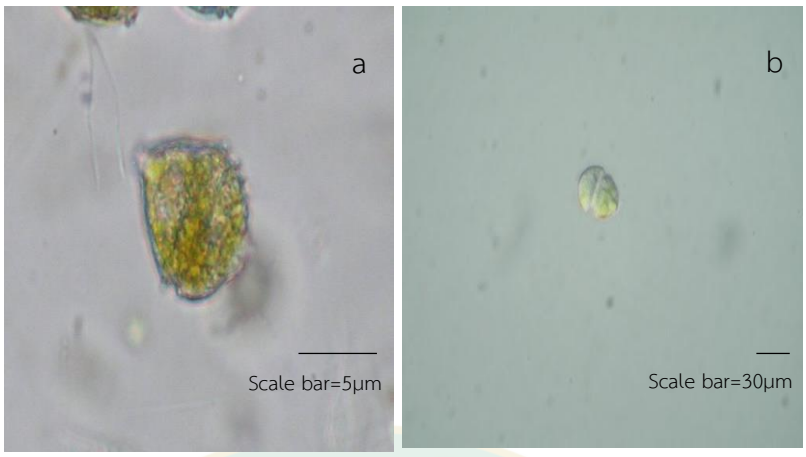
c: *Nitzschia palea*



ภาพที่ 47 แพลงก์ตอนพืชใน ดิวิชั่น *Euglenophyta*

a: Peranema *sp.*

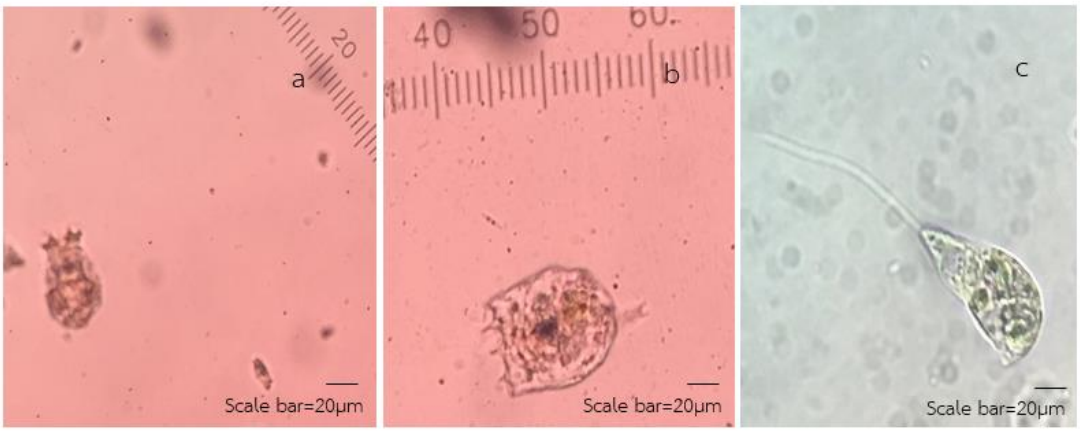
b: Trachelomonas sp.



ภาพที่ 48 แพลงก์ตอนพืชใน ดิวิชั่น *Pyrrhophyt*

a: Peridiniumum *sp.*

b: Gymnodinium sp.



ภาพที่ 49 แพลงก์ตอนสัตว์ใน ดิวิชั่น Rotifera

a: Brachionus rubens

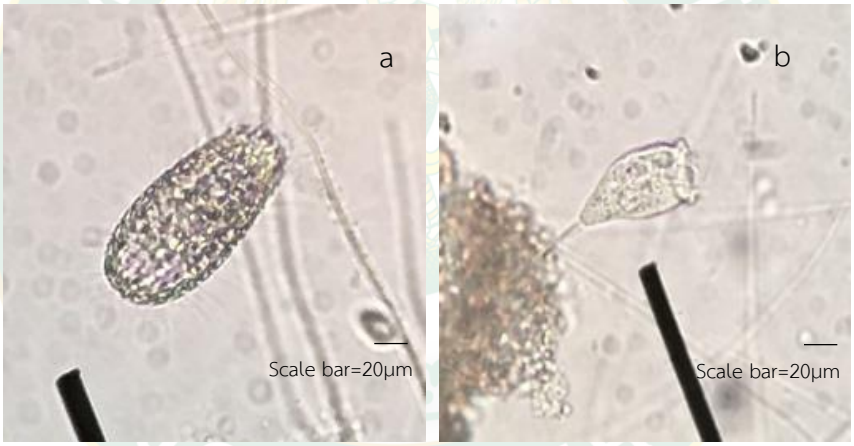
b: Brachionus *sp.*

c: Trichocerca *sp.*

ภาพที่ 50 แพลงก์ตอนสัตว์ใน ดิวิชั่น Arthropoda

a: Cladocerra *sp.*

b: Copepoda *sp.*



ภาพที่ 51 แพลงก์ตอนสัตว์ใน ดิวิชั่น Protozoa

a: Coleps *sp.*

b: Vorticella *sp.*

8. ต้นทุนการผลิตและผลผลิต

ต้นทุนการผลิตและผลผลิต โดยคิดต้นทุนจากค่าพันธุ์ปลา ค่าอาหาร ค่าไฟ และค่าสวนผสมตะกอนไบโอฟลอค พบว่าปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบทั่วไปให้อาหาร 3 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 44.76±0.71 บาท/กิโลกรัม มีต้นทุนการผลิตต่ำกว่าทั้ง 3 ชุดการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังตารางที่ 7 ส่วนผลผลิตที่ได้เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าชุดการทดลองระบบปิดแบบไบโอฟลอคให้อาหาร 1.5, 3 และ 4.5 เปอร์เซ็นต์ได้ผลผลิตทั้งหมด มีค่าเท่ากับ 23.53±0.01, 22.30±0.07 และ 23.77±0.03 กิโลกรัม/บ่อ ตามลำดับ สูงกว่าชุดการทดลองระบบปิดแบบทั่วไปให้อาหาร 3 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 20.81±0.14 กิโลกรัม/บ่อ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ต้นทุน (บาท/กิโลกรัม) และผลผลิต (กิโลกรัม/บ่อ) ของปลานิลที่เลี้ยงในระบบปิดแบบทั่วไปและในระบบปิดแบบไบโอฟลอค

พารามิเตอร์ในการศึกษา	**ระบบปิด**			
	T1 (ระบบควบคุม+ให้อาหาร 3%)	**T2 (ระบบไบโอฟลอค+ให้อาหาร 1.5%)**	**T3 (ระบบไบโอฟลอค+ให้อาหาร 3%)**	**T4 (ระบบไบโอฟลอค+ให้อาหาร 4.5%)**
ต้นทุน (บาท/กิโลกรัม)	44.75±0.71 [a]	64.72±03 [b]	91.75±0.38 [c]	112.65±0.21 [d]
ผลผลิต (กิโลกรัม/บ่อ)	20.81±0.14 [a]	23.53±0.00 [c]	22.30±0.07 [b]	23.77±0.03 [d]

หมายเหตุ : Mean ± S.E. ตัวอักษรที่ไม่เหมือนกันในแต่ละแถว แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

วิจารณ์ผลการวิจัย

การทดลองที่ 1 การอนุบาลลูกปลานิลแดงในระบบที่แตกต่างกันเพื่อหาระบบที่เหมาะสมในการอนุบาลลูกปลานิลแดง

ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของลูกปลานิลแดงที่อนุบาลในระบบปิดแบบไบโอฟลอค พบว่าน้ำหนักเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน อัตราการรอดตายและอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อสูงกว่าลูกปลานิลแดงที่อนุบาลในระบบปิดแบบใช้หัวทรายและกรองหินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) สอดคล้องกับการศึกษาของ Ekasari และคณะ (2015) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของเทคโนโลยีไบโอฟลอคต่อการเจริญเติบโตและความแข็งแรงของปลานิลวัยอ่อน (*Oreochromis niloticus*) โดยเลี้ยงในระบบไบโอฟลอค และในระบบที่ไม่ใช่ไบโอฟลอค พบว่าในระบบไบโอฟลอคปลาวัยอ่อนมีอัตราการรอดตาย 90 - 98 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในระบบที่ไม่ใช่ไบโอฟลอคปลาวัยอ่อนมีอัตราการรอดตาย 67 - 75 เปอร์เซ็นต์ การเจริญเติบโตของปลานิลวัยอ่อนสูงขึ้นเมื่ออยู่ในระบบไบโอฟลอค นอกจากนี้มีรายงานการศึกษาผลของเทคโนโลยีไบโอฟลอค (BFT) ในบ่อในที่ร่มต่อคุณภาพน้ำ องค์ประกอบของไบโอฟลอค การเจริญเติบโตและการดำรงชีวิตของปลานิล โดยทำการทดลองเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอคในถังที่ควบคุมแสงและระบบน้ำธรรมดา พบว่าคุณค่าทางโภชนาการในถังระบบไบโอฟลอคมีค่าเหมาะสมต่อปลานิล ปลามีอัตรารอด 100 เปอร์เซ็นต์ ผลผลิตของปลาสูงถึง 45 เปอร์เซ็นต์ ในระบบไบโอฟลอค โดยที่ปลาใช้ประโยชน์จากตะกอนฟลอคและอาหารที่ได้รับ (Azim and Little, 2008) เนื่องจากไบโอฟลอคมีการดึงไนโตรเจนมาใช้เพื่อสร้างเซลล์ใหม่ ซึ่งเนื้อเซลล์ใหม่คือสารจำพวกพวกโปรตีน ซึ่งเมื่อสัตว์น้ำกินกลุ่มฟลอคที่เป็นโปรตีนจึงส่งผลต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ (อนุสรา, 2559)

ปัจจัยคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีในบ่ออนุบาลลูกปลานิลแดงในระบบปิดแบบใช้หัวทราย กรองหินและไบโอฟลอค พบว่าแอมโมเนียไนโตรเจน ไนไตรไนโตรเจนและไนเตรทไนโตรเจน ในบ่ออนุบาลลูกปลานิลแดงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคมีค่าน้อยกว่าบ่ออนุบาลลูกปลานิลระบบปิด แบบใช้หัวทรายและกรองหิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) สอดคล้องกับการศึกษาของ วรรัตน์ (2552) ได้ศึกษาการเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบปิดโดยนำแนวคิดของระบบเทคโนโลยีไบโอฟลอคมาใช้ พบว่า น้ำในบ่อที่มีไบโอฟลอคสามารถควบคุมคุณภาพน้ำได้ดีกว่าการใช้น้ำประปาและการเพาะเลี้ยงปลานิลควบคู่กัน พบว่าการเติมแป้งมันและอาหารปลานิลทุกวันลงในถังเพาะเลี้ยงในอัตราส่วน C:N เท่ากับ 16:1 สามารถควบคุมปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนได้ดีกว่าชุดควบคุมที่เติมอาหารปลาอย่างเดียว การบำบัดแอมโมเนียด้วยกระบวนไนตริฟิเคชั่น (Nitrification) โดยอาศัยการทำงานของแบคทีเรียกลุ่มไนตริไฟอิงเปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไนไตรท์ และเปลี่ยนจากไนไตรท์เป็นไนเต

รทซึ่งแบคทีเรียกลุ่มนี้จะใช้คาร์บอนจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งพลังงานในการเปลี่ยนรูปแอมโมเนียซึ่งเป็นพิษรุนแรงต่อสัตว์น้ำให้เป็นไนเตรทที่มีความเป็นพิษต่ำ (อนุสรา, 2559) ตะกอนจุลินทรีย์ (biofloc) เป็นกลุ่มของจุลินทรีย์จำพวกเฮทเทอโรโทรฟิค (Heterotrophic bacteria) ที่มารวมตัวกันเป็นตะกอนแขวนลอย เมื่อมีการเติมสารอาหารจำพวกคาร์โบไฮเดรตลงไปจะเกิดการกระตุ้นให้ไบโอฟลอคดึงไนโตรเจน (แอมโมเนีย) มาใช้ในการสร้างเซลล์ใหม่ ทำให้จำนวนจุลินทรีย์เพิ่มมากขึ้น ปริมาณแอมโมเนียในน้ำลดลง (Avnimelech, 2015)

การทดลองที่ 2 การเลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคกับระบบปิดแบบทั่วไปในบ่อซีเมนต์

เพื่อเปรียบเทียบอัตราการเจริญเติบโต ประเมินค่าดัชนีความสมบูรณ์เพศในปลา คุณค่าทางโภชนาการของเนื้อปลา ปริมาณโลหะหนัก ระบบภูมิคุ้มกัน ปัจจัยคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมี ความหลากหลายของแพลงก์ตอนในบ่อและต้นทุนค่าอาหาร

การศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบทั่วไปให้อาหาร 3 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบกับระบบปิดแบบไบโอฟลอคให้อาหาร 1.5, 3 และ 4.5 เปอร์เซ็นต์ เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคให้อาหาร 1.5, 3 และ 4.5 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำหนักตัวเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง มีค่าเท่ากับ 346.00±0.01, 328.00±1.00 และ 349.50±0.50 กรัม ตามลำดับ และน้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น (WG) มีค่าเท่ากับ 300.67±0.76, 282.83±0.76 และ 304.33±1.04 กรัม ตามลำดับ สอดคล้องกับการศึกษาของ Ekasari และคณะ (2015) ได้ทำการศึกษาผลของการเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอคต่อการเจริญเติบโต พบว่าปลานิลที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอคมีการเจริญเติบโตได้ดีกว่าระบบควบคุมที่เลี้ยงในน้ำประปาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (ADG) มีค่าเท่ากับ 2.01±0.01, 1.89±0.01 และ 2.03±0.01 กรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (SGR) มีค่าเท่ากับ 1.35±0.01, 1.32±0.01 และ 1.36±0.01 เปอร์เซ็นต์/วัน ตามลำดับ ของปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคให้อาหาร 1.5,3 และ 4.5 เปอร์เซ็นต์ ดีกว่าปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบทั่วไปให้อาหาร 3 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับการศึกษาของ เมธาวี และคณะ (2560) ได้ศึกษาการผสมคิว.พี.โปรไบโอติกในอาหารสำเร็จรูปให้ปลาหมอ ที่ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ พบว่ามีค่าเฉลี่ยอัตราการเจริญเติบโตจำเพราะดีที่สุด มีค่าเท่ากับ 2.01±0.12 เปอร์เซ็นต์/วัน อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) ของปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคให้อาหาร 1.5 เปอร์เซ็นต์ดีที่สุด มีค่าเท่ากับ 1.10±0.01 และอัตราการรอดตายของปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคให้อาหาร 1.5, 3 และ 4.5 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 81.19±1.00, 86.99 ± 0.32 และ 85.01 ± 0.61 เปอร์เซ็นต์ ดีกว่าปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบทั่วไปให้อาหาร 3 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับ

การศึกษาของ Chen และคณะ (2020) ได้ทำการศึกษาผลของการเติมคาร์โบไฮเดรตในระบบไบโอฟลอคต่อการเจริญเติบโตของปลาดุกแอฟริกา (*Clarias gariepinus*) พบว่าการเติมคาร์โบไฮเดรตในระบบไบโอ-ฟลอคมีผลต่อปริมาณจุลินทรีย์ในบ่อ อัตราการรอดตายของปลาดุกแอฟริกาอยู่ในช่วง 89–97 เปอร์เซ็นต์ และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้ออยู่ในช่วง 1.17–1.43 คุณค่าทางโภชนาการในระบบไบโอฟลอคมีค่าเหมาะสมต่อปลานิล โดยที่ปลาใช้ประโยชน์จากตะกอนฟลอคและอาหารที่ได้รับ (Azim and Little, 2008) เนื่องจากไบโอฟลอคมีการดึงไนโตรเจนมาใช้เพื่อสร้างเซลล์ใหม่ ซึ่งเนื้อเซลล์ใหม่คือสารจำพวกพวกโปรตีน เมื่อสัตว์น้ำกินกลุ่มฟลอคที่เป็นโปรตีนจึงส่งผลต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ (อนุสรา, 2559)

ดัชนีความสมบูรณ์เพศของปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอค ทั้ง 3 ชุดการทดลองมีค่ามากกว่าปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบทั่วไปอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ส่วนปริมาณความดกของไข่หลังจากทำการทดลอง 30 วัน ปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิด แบบไบโอฟลอคทั้ง 3 ชุดการทดลอง มีค่ามากว่าปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิด แบบทั่วไปอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) สอดคล้องกับการทดลองของ Ekasari และคณะ (2016) ทำการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีไบโอฟลอคในการผลิตปลาดุกอุย ผลต่อสมรรถภาพการสืบพันธุ์ของพ่อแม่พันธุ์และคุณภาพของไข่และตัวอ่อน พบว่าดัชนีความสมบูรณ์เพศและความดกของไข่ของพ่อแม่พันธุ์ปลาดุกที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอคสูงกว่าชุดควบคุมที่เลี้ยงในระบบทั่วไป 26 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ได้มีการนำไบโอฟลอคมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาความสมบูรณ์ของระบบสืบพันธุ์ในสัตว์น้ำ เช่น ในกุ้งสีฟ้า (*Litopeneous stylostris*) ที่เลี้ยงด้วยระบบไบโอฟลอค พบว่า มีการเจริญพันธุ์อย่างต่อเนื่องและมีความดกของไข่ที่เพิ่มขึ้น (Ekasari *et al*., 2016) และยังพบกลุ่มของสาหร่ายสไปรูลิน่า (*Spirulina arthrospira*) ในบ่อของปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอค ซึ่งสไปรูลิน่ามีสารอาหารช่วยสร้างอวัยวะสืบพันธุ์และกรดไขมันจำเป็นต่อสารตั้งต้นในการสร้างฮอร์โมนที่เกี่ยวข้องกับการเจริญพันธุ์ของสัตว์น้ำ (จงกลและคณะ, 2555)

ปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคมีอัตรารอดสูงกว่าปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบทั่วไปอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ซึ่งแปรผันตามกันกับภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะ (Lysozyme activity assay) ของปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคทั้ง 3 ชุดการทดลองดีกว่าปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบทั่วไปอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) สอดคล้องกับการทดลองของ Ahmad และคณะ (2016) ได้ศึกษาภูมิคุ้มกับแบบไม่เจาะจงและความต้านทานโรคของปลายี่สกเทศต่อเชื้อ *Aeromonas hydrophila* ในบ่อที่เลี้ยงด้วยระบบไบโอฟลอค พบว่า ปลายี่สกเทศที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอคที่ได้รับเชื้อ *A. hydrophila* มีโปรตีนในเลือดสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ขณะที่ซีรั่มอัลบูมิน อิมมูโนโกลบูลินรวม กิจกรรม Myeloperoxidase ระดับน้ำตาลในเลือดและซีรั่มคอร์ติซอลต่ำกว่ากว่าชุดควบคุมที่เลี้ยงในระบบทั่วไป แสดงให้เห็นว่าเทคโนโลยีไบโอฟลอคสามารถใช้ในการ

ผลิตปลานิลได้ อย่างมีประสิทธิภาพโดยจากการศึกษากับปลานิลที่ได้รับเชื้อ *Streptococcus* พบว่าปลามีระดับคอร์ ติซอลต่ำลง มีอัตราการรอดสูง (Avnimelech, 2015) การศึกษาของ ศุภณัฐ และคณะ (2561) ได้ศึกษาผลของไบโอฟลอคที่ผลิตจากแหล่งคาร์บอนที่แตกต่างกันต่อการตอบสนองของภูมิคุ้มกันในปลานิล หลังจากที่ปลานิลได้รับไบโอฟลอคเป็นเวลา 7 วัน พบว่า ไบโอฟลอคที่ผลิตจากแหล่งคาร์บอนต่าง ๆ สามารถกระตุ้นและเพิ่มการตอบสนองของค่าต่าง ๆ ในเลือดอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับปลานิลที่ไม่ได้รับไบโอฟลอค สอดคล้องกับรายงานของ (สุไหลหมาน และคณะ (2558) ได้ใช้ตะกอนฟลอคเหลือทิ้งในระบบการเลี้ยงปลานิลมาเสริมสารกระตุ้นภูมิคุ้มกัน ให้ปลานิลกินร่วมกับอาหารสำเร็จรูปเป็นเวลา 10 วัน พบว่าปลานิลที่ได้รับเชื้อ *Streptococcus agalactice* มีอัตราการรอดตายเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ในบ่อที่เลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบไบโอฟลอค ให้อาหารสูตรปลอดภัย 1.5 และ 4.5 เปอร์เซ็นต์พบมวลชีวภาพของแพลงก์ตอนกลุ่มดิวิชั่น Cyanophypa ซึ่งมีสาหร่ายสไปรูลิน่า (*S. arthrospira*) มีส่วนช่วยสร้างภูมิคุ้มกันในสัตว์น้ำ สอดคล้องกับการทดลองของ Mahmoud และคณะ (2018) เสริมสาหร่าย *Spirulina arthrospira* ในอาหารปลานิล เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเจริญเติบโตและการตอบสนองต่อภูมิคุ้มกันต่อ *Pseudomonas fluorescens* พบว่าปลานิลที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่ายสไปรูลิน่า 1 เปอร์เซ็นต์ มีภูมิคุ้มกันดีขึ้น ปัจจัยต่าง ๆ ทางโลหิตวิทยาและกระบวนการของไลโซไซม์ของปลานิลที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่ายสไปรูลิน่า 1 เปอร์เซ็นต์ ดีกว่าปลานิลที่ให้อาหารเพียงอย่างเดียว

สำหรับการศึกษาการปนเปื้อนของโลหะหนักในระบบปิดแบบทั่วไปและระบบปิดแบบไบโอฟลอค พบปริมาณของปรอทในเนื้อปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคทั้ง 3 ชุดการทดลอง มีค่าเท่ากับ 0.024 - 0.030 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่พบในเนื้อปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบทั่วไป ซึ่ง ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานความปลอดภัยต่อผู้บริโภค ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 412 (พ.ศ.2562) เรื่อง มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อนค่าสูงสุดปริมาณโลหะหนักในปลาและผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำของประเทศต่าง ๆ ที่อนุญาตให้มีได้ (รัชดา, 2557) ปรอทสามารถปนเปื้อนมากับดินที่นำมาทำตะกอนไบโอฟลอค มีรายงานว่าโดยทั่วไปการแพร่กระจายของปรอทในดินจะมีไม่มากนัก พบว่ามีความเข้มข้นในระดับที่ค่อนข้างต่ำ โดยเฉลี่ยประมาณ 70 นาโนกรัม/กรัม (กรมควบคุมมลพิษ, 2554)

ปัจจัยทางคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีในบ่อที่เลี้ยงปลานิลแดงทั้ง 4 ชุดการทดลอง พบว่าค่า ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของแต่ละชุดการทดลองมีค่าอยู่ระหว่าง 8.22±0.01-8.63±0.01 ซึ่งจัดอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมคืออยู่ในช่วงระหว่าง 6.5-9 (ชนินทร์, 2550) ค่า pH ในบ่อปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอ-ฟลอคให้อาหาร 1.5, 3 และ 4.5 เปอร์เซ็นต์ มีแนวโน้มลดลงในวันที่ 75–150 ของการทดลอง เนื่องจากมีการเติมกากน้ำตาลซึ่งเป็นแหล่งคาร์บอนทำให้ค่า pH ลดลง (ศุภณัฐ และคณะ, 2561) ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) เป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการดำรงชีวิตของปลา

และสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำควรมีค่าไม่น้อยกว่า 3.0 มิลลิกรัม/ลิตร (ชนินทร์, 2550) จากการทดลองพบว่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำของทั้ง 4 ชุดการทดลองมีค่าระหว่าง 6.90±0.01-6.97±0.06 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (NH_3-N) ในบ่อที่เลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคให้อาหาร 1.5, 3 และ 4.5 เปอร์เซ็นต์ มีค่าลดลงเนื่องจากกระบวนการไนตริฟิเคชั่นเปลี่ยนรูปสารประกอบแอมโมเนียเป็นไนไตรท์-ไนโตรเจน (NO_2^--N) จึงทำให้ปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจนสูงขึ้น ซึ่งไนไตรท์จะถูกเปลี่ยนเป็นไนเตรท-ไนโตรเจน (NO_3^--N) ในที่สุด (มะลิวัลย์, 2559) การเติมแหล่งคาร์บอนลงไปในบ่อเช่น แป้ง หรือน้ำตาล เมื่อเติมคาร์บอนลงไปจุลินทรีย์ก็จะดึงคาร์บอนมาเป็นแหล่งพลังงานแล้วก็จะดึงเอาไนโตรเจนซึ่งเป็นสารประกอบของแอมโมเนียที่มีอยู่ในน้ำมาเป็นตัวสร้างเซลล์เพื่อการเจริญเติบโต ดังนั้นถ้ามีการเติมคาร์บอนในสัดส่วนที่เหมาะสมจะเป็นการส่งเสริมให้จุลินทรีย์มีการดึงไนโตรเจนมาใช้มากขึ้นตามไปด้วย ผลก็คือปริมาณแอมโมเนียในน้ำก็จะลดลง ขณะเดียวกันปริมาณของจุลินทรีย์ก็จะเพิ่มมากขึ้นด้วยเท่ากับว่าประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำในบ่อก็ย่อมจะดีขึ้นตามลำดับ (อนุสรา, 2559) ปริมาณออร์โธฟอสเฟส-ฟอสฟอรัส (PO_4^{3-}-P) เป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืชทำให้พืชน้ำเจริญเติบโต หากมีปริมาณมากเกินไปจะทำให้ออกซิเจนในน้ำลดลงเกิดภาวะขาดออกซิเจนในน้ำได้ ซึ่งในบ่อปลาไม่ควรมีปริมาณของฟอสฟอรัสสูงกว่า 0.6 มิลลิกรัม/ลิตร (ชนินทร์, 2550) จากการทดลอง พบว่าในบ่อที่เลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคให้อาหาร 1.5, 3 และ 4.5 เปอร์เซ็นต์ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.82±0.01-0.99±0.01 มิลลิกรัม/ลิตร เนื่องจากปริมาณแพลงก์ตอนและแบคทีเรียที่อยู่ในตะกอนไบโอฟลอคมีจำนวนมาก (Avnimelech, 2015)

ต้นทุนการผลิตปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบทั่วไปให้อาหาร 3 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 44.75±0.71 บาท/กิโลกรัม ซึ่งต่ำกว่าทั้ง 3 ชุดการทดลอง ในระบบปิดแบบไบโอฟลอคให้อาหาร 1.5 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 64.72±03 บาท/กิโลกรัม ต่ำกว่าในระบบปิดแบบไบโอฟลอคให้อาหาร 3 และ 4.5 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับการทดลองเลี้ยงปลานิลในระบบปิดแบบไบโอฟลอคที่บ่อคณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ เทวินฟาร์ม และสมหมายฟาร์ม โดยให้อาหาร 0.5 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์ พบว่ามีต้นทุนการผลิตของปลาที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอคให้อาหาร 1.5 เปอร์เซ็นต์ มีต้นทุนอยู่ระหว่าง 48.81-65.12 บาท/กิโลกรัม (จงกล, 2558) ส่วนผลผลิตจากการเลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคให้อาหาร 1.5, 3 และ 4.5 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 23.53±0.01, 22.30±0.07 และ 23.77±0.03 กิโลกรัม ดีกว่าปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบทั่วไปให้อาหาร 3 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 20.81±0.14 กิโลกรัม เช่นเดียวกับการศึกษาของ จงกล (2558) ได้ทำการเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค เพื่อศึกษาการเจริญเติบโต และต้นทุนการผลิต พบว่ามีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้ออยู่ระหว่าง 0.59–1.63 ได้ผลผลิตประมาณ 19.64–27.30 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการอนุบาลลูกปลานิลแดงในระบบปิดแบบกรองหิน แบบใช้หัวทรายและแบบไบโอฟลอค พบว่าลูกปลานิลแดงที่อนุบาลในระบบปิดแบบไบโอฟลอคมีประสิทธิภาพการเจริญเติบโตดีที่สุด ส่วนคุณภาพน้ำในบ่ออนุบาลพบว่าน้ำในบ่อที่อนุบาลลูกปลานิลแดงทั้ง 3 ชุดการทดลองมีความเหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ค่าแอมโมเนีย-ไนโตรไจนในบ่อที่อนุบาลลูกปลานิลในระบบไบโอฟลอคมีค่าลดลงและมีความเหมาะสมที่สุด

ผลจากการเลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบทั่วไปให้อาหาร 3 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบกับระบบปิดแบบไบโอฟลอคให้อาหาร 1.5, 3 และ 4.5 เปอร์เซ็นต์ เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคทั้ง 3 ชุดการทดลองดีกว่านิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบทั่วไปให้อาหาร 3 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นผลมาจากที่ปลาใช้ประโยชน์จากตะกอนไบโอฟลอคและแพลงก์ตอนในน้ำในการเจริญเติบโต ส่วนอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อและต้นทุนการผลิตของปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบทั่วไปให้อาหาร 1.5 เปอร์เซ็นต์ ดีที่สุด ดัชนีความสมบูรณ์เพศและระบบภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะของปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอคดีกว่าปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบทั่วไป เนื่องจากพบสไปรูลิน่าจำนวนมากซึ่งมีส่วนเสริมสร้างความสมบูรณ์เพศช่วยสร้างภูมิคุ้มกันให้แก่ปลา คุณค่าทางโภชนาการอาหารไม่พบความแตกต่างกันใน 4 ชุดการทดลอง ส่วนปริมาณโลหะหนัก พบปรอทในเนื้อปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอค เนื่องมาจากมีสารปรอทที่ตกค้างอยู่ในตะกอนดินที่นำมาทำตะกอนไบโอฟลอค แต่ปริมาณสารปรอทยังอยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัย ปัจจัยคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีพบว่าทั้ง 4 ชุดการทดลองมีคุณภาพน้ำที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ระบบไบโอฟลอคสามารถช่วยในการบำบัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในบ่อได้ แต่ปริมาณออร์โธฟอสเฟส-ฟอสฟอรัสสูงในบ่อที่เลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคทั้ง 3 ชุดการทดลอง เนื่องจากมีปริมาณแพลงก์ตอนและแบคทีเรียจำนวนมาก จึงควรมีการดูดตะกอนไบโอฟลอคสัปดาห์ละครั้งเพื่อลดปริมาณออร์โธฟอสเฟส-ฟอสฟอรัส แต่การเลี้ยงปลาในระบบปิดแบบไบโอฟลอคทั้ง 3 ชุดการทดลอง ยังมีต้นทุนการผลิตที่สูงกว่าการเลี้ยงปลาในระบบปิดแบบทั่วไป ซึ่งมาจากต้นทุนค่าวัสดุในการทำตะกอนฟลอคและค่าไฟฟ้า

ข้อเสนอแนะ

1. การเลี้ยงปลานิลแดงในระบบไบโอฟลอคมีต้นทุนอื่นๆในส่วนของค่าไฟฟ้าในการให้อากาศและวัตถุดิบในการทำตะกอนฟลอค ซึ่งการศึกษาในครั้งนี้ยังสามารถนำไปต่อยอดในงานวิจัยครั้งต่อไปในการลดต้นทุนสำหรับการเลี้ยงปลาในระบบไบโอฟลอคได้

2. พื้นที่ในการทำบ่อเลี้ยงปลาในระบบไบโอฟลอคควรตั้งอยู่ในที่ที่มีแสงแดดส่องถึงได้ เพื่อประสิทธิภาพที่ดีในการผลิตตะกอนไบโฟลอค และการเลี้ยง

3. ระบบไบโอฟลอคกับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำยังถือว่าเป็นเทคโนโลยีใหม่สำหรับเกษตรกรเป็นอย่างมาก การให้ความรู้ ความเข้าใจ และวิธีการจึงเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการสร้างความเข้าใจให้เกษตรกรในการนำไปประยุกต์ใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้

บรรณานุกรม

กรมควบคุมมลพิษ. 2554. **ปรอท**. กรุงเทพฯ: กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.

กรมควบคุมมลพิษ. 2557. **การดำเนินการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำแหล่งน้ำ แหล่งน้ำผิวดิน**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.pcd.go.th/info_serv/documents/FreshWaterSampling57.pdf (22 มกราคม 2560).

กรมประมง. 2551. **หลักเกณฑ์และมาตรฐานการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดอินทรีย์**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:TysswKccO1MJ:203.157.181.4/km_yasothon/paper/21/2121.doc+&cd=4&hl=th&ct=clnk&gl=th (18 มกราคม 2560).

กรมประมง. 2556. **การเพาะเลี้ยงปลานิลในบ่อดิน**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://gms.oae.go.th/Z_Show.asp?ArticleID (20 มกราคม 2560).

กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. 2550. **ปลาอาหารคู่ชีวิต**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://nutrition.anamai.moph.go.th/temp/main/view.php?group=2&id=122 (11 กุมภาพันธ์ 2560).

กษิดิส หนูทอง. 2551. การบำบัดไนโตรเจนในระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบปิด. **วารสารพระจอมเกล้าลาดกระบัง**, 16, 11-20.

กองวิจัยและพัฒนาพันธุกรรมสัตว์น้ำ. 2560. **ปลานิลจิตรลดา**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www4.fisheries.go.th/local/index.php/main/view_activities/113/3541 (4 สิงหาคม 2560).

เกรียงศักดิ์ เม่งอำพัน. 2550. **การหาค่าดัชนีความสมบูรณ์เพศและความดกของไข่ในปลา**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://coursewares.mju.ac.th:81/elearning47/section2/fa301/Practice/practice2.htm (20 กรกฎาคม 2560).

จงกล พรมยะ. 2558. **ระบบไบโอฟลอคกับการผลิตปลานิลอินทรีย์ต้นแบบเพื่อวิสาหกิจชุมชนจังหวัดเชียงใหม่**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา thesis.grad. chula.ac.th/readfile1.php?fn=ab5070431721. doc (24 มกราคม 2560).

จงกล พรมยะ. 2560. **แพลงก์ตอนวิทยา**. เชียงใหม่: คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

จงกล พรมยะ, บัญชา ทองมี และขจรเกียรติ ศรีนวลสม. 2555. ผลของอาหารผสมสไปรูลิน่าต่อการเจริญเติบโต ความสมบูรณ์เพศและระบบภูมิคุ้มกันในปลาคราฟ. **วารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง**, 6(1), 11-22.

จารวี เอียดสุย. 2541. **การสะสมของโลหะหนักในเนื้อปลาปลานิล (Oreochromis niloticus) ที่เลี้ยงในบ่อบำบัดน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรี.** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.phtnet.org/research/view-abstract.asp?research_id=ah206 (28 มกราคม 2560).

ชนกันต์ จิตมนัส. 2557. **ตำราวิชา ชป 322 โรคสัตว์น้ำ**. เชียงใหม่: คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

ชนกันต์ จิตมนัส. 2558. ภูมิคุ้มกันจากแม่ปลา. **เชียงใหม่สัตวแพทยสาร,** 13(2), 93-101.

ชนินทร์ แสงรุ่งเรือง. 2550. **การตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพ (biological monitoring)**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.virtual.cmru.ac.th/multim_link/ etheses/ 391484/C2_391484.pdf (22 มกราคม 2560).

ชลฤทัย พิญเดช, ประจวบ ฉายบุ และ ฐปน ชื่นบาล. 2554. การเปรียบเทียบการเจริญเติบโตและคุณภาพน้ำในการเลี้ยงปลาบ่ทรายระบบปิด. **วารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง**, 5(2), 27-37.

นพดล นาบุญพัฒนา. 2560. **การวิเคราะห์ที่เหมาะสมต่อการวางไข่และอนุบาลปลาน้ำจืดธรรมชาติทุ่งสุโขทัย**. วิทยานิพนธ์ริญญาตรี. มหาวิทยาลัยนเรศวร.

นฤมล อัศวเกศมณี. 2545. **บทความในหนังสือการเลี้ยงปลาน้ำจืด เรื่องคุณภาพน้ำที่เหมาะสมในการเลี้ยงปลาน้ำจืด**. สงขลา: สำนักวิทยาบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา.

นวลมณี พงศ์ธนา. 2553. **ปัจจัยการเพาะเลี้ยงปลานิลและปลานิลแดงให้ประสบผลสำเร็จ**. ปทุมธานี: สถาบันวิจัยและพัฒนาพันธุกรรมสัตว์น้ำ ศูนย์วิจัยและทดสอบพันธุ์สัตว์น้ำปทุมธานี.

นิลุบล กิจอันเจริญ, ชุติมา หาญจวณิช และ นงนุช สุวรรณเพ็ง. 2549. ประสิทธิภาพของการให้วัคซีนที่ผลิตจากเชื้อ Streptococcus agalactiae ในการ ป้องกันโรคสเตรปโตคอคโคซิสในปลานิล. **วารสารวิจัย มข.**, 11(1), 53-61.

นิวุฒิ หวังชัย. 2548. **โภชนาศาสตร์สัตว์น้ำ**. เชียงใหม่: คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ.

เบทาโกร. 2557. **คู่มือการเลี้ยงปลานิลและปลานิลแดง**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา https://bit.ly/2D8r5xU (4 สิงหาคม 2560).

มลวิภา ลือชัย. 2540. **การปรับปรุงคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลานิลด้วยระบบถังกรองทรายแบบไหลไม่ต่อเนื่อง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มะลิวัลย์ คุตะโค, อิทธิพล บางเพชร, ภควรรค เศรษฐมงคล, นิสาชล เทศศรี, ปวีณา ตปนียวรวงศ์ และ สรวิศ เผ่าทองศุข. 2559. อัตราการบำบัดแอมโมเนียของไบโอฟลอกที่สร้างจากกลุ่มจุลินทรีย์น้ำเค็ม. **แก่นเกษตร 44 (ฉบับพิเศษ 1)**, 731-737.

เมธาวี รอตมงคลดี, วัฒนะ ลีลาภัทร และ วิภาวี ไทเมืองพล. 2560. ผลของโปรไบโอติกต่อการเจริญเติบโตและอัตรารอดของปลาหมอ. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**, ฉบับพิเศษ, 82-89.

รัชดา อิทธพงษ์. 2557. **การปนเปื้อนโลหะหนักในสัตว์น้ำจากสะพานปลาท่าเทียบเรือ**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา https://www.fisheries.go.th/industry/files/archives/F32557.pdf (4 สิงหาคม 2562).

ลัดดา วงศ์รัตน์. 2542. **แพลงก์ตอนพืช**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 851 หน้า.

ลัดดา วงศ์รัตน์. 2543ก. **คู่มือการเลี้ยงแพลงก์ตอน**. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 127 หน้า.

ลัดดา วงศ์รัตน์. 2543ข. **แพลงก์ตอนสัตว์**. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 787 หน้า.

วรรัตน์ วณิชชานัย. 2552. **ผลจากการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนต่อการเกิดตะกอนจุลินทรีย์และคุณภาพน้ำในระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำแบบปิด**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศุภณัฐ วัฒิธรรม, ณัฏนิชา เมืองกาญจน์, ธีรวุฒิ เลิศสุทธิชวาล, นิอร จิรพงศธรกุล และ กิตติชนม์ อุเทนะพันธุ์. 2561. ผลของไบโอฟลอคที่ผลิตจากแหล่งคาร์บอนที่แตกต่างกันต่อการตอบสนองของภูมิคุ้มกันในปลานิล. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**, 20(2), 1-13.

ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดอำนาจเจริญ. 2556. **คุณภาพน้ำในแม่น้ำและแหล่งน้ำที่สำคัญของจังหวัดอำนาจเจริญ**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา https://www4. fisheries.go.th/local/index.php/main/view_activities/160/59221 (24 มกราคม 2560).

ศูนย์วิจัยและพัฒนาชายฝั่งตรัง. 2556. **แพลงก์ตอน**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา https://www.google.com/search?q=%E0%B9%81%E0%B8%9E%E0%B8%A5%Ez=1C1SQJL_enTH890TH890&oq=%E0%B9%81%E0%B8%9E%E0%B8%A5%E0%=chrome..69i57j0l7.8937j0j8&sourceid=chrome&ie=UTF-8 (15 มีนาคม 2563).

สมาคมนิสิตเก่าคณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2559. ไบโอฟลอคทางเลือกใหม่ของคนเลี้ยงสัตว์น้ำ. ใน **งานสัมมนาเรื่องไบโอฟลอค.** กรุงเทพฯ: คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สำนักวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด. 2554. **องค์ความรู้ปราชญ์ปลานิล**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.fisheries.go.th/freshwater/web3/images/download/KM_Guru. (4

สิงหาคม 2560).

สุทธิพงศ์ หมาดหลู, สุวัจน์ ธัญรส และ ปรีดา ภูมี. 2556. ผลของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในการเลี้ยงกุ้งขาวร่วมกับปลานิลด้วยเทคโนโลยีไบโอฟล็อค. **วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย,** 5(1), 96-106.

สุปิยนิตย์ ไม้แพ. 2550. **"แพลงก์ตอน" สัตว์ตัวเล็กแต่ยิ่งใหญ่ในมวลน้ำ**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www1a.biotec.or.th/BRT/index.php/2010-08-09-09-38-28/161-plankton-animal (15 มีนาคม 2563).

สุไหลหมาน หมาดโหยด, สุวรรณา หมาดโหยด, สุวิทย์ วุฒิสุทธิเมธาวี, ดิลกา ชุมทอง, กฤศณัฏฐ์ จันทศิลา, อรวรา นวลละออง, สุภาพร หนูชู และ สุรินทร บุญรอด. 2558. **การประยุกต์การเสริมสารกระตุ้นภูมิคุ้มกันในตะกอนฟลอคอบแห้งต่ออัตราการรอดตายในปลานิลที่ติดเชื้อ Streptococcus agalactiae, DMST17129**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://repository.rmutr.ac.th/bitstream/handle/123456789/882/rmutrconth_209.pdf?sequence=1&isAllowed=y (24 มกราคม 2560).

อนุสรา แก่นทอง. 2559. **ไบโอฟลอคกับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา www.fisheries.go.th/ifsongkhla/web2/images/evaluate/biofloc.doc (15 มกราคม 2560).

อานุภาพ วรรณคนาพล. 2556. **การค้นหาแหล่งคาร์บอนที่เหมาะสมในการผลิต Biofloc ในบ่อเลี้ยงปลานิล (*Oreochromis niloticus*, L.) และปลาดุกบิ๊กอุย (*Clarias gariepinus x Clarias macrocephalus*).** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา www.e-manage.mju.ac.th/openFile.aspx?id=MTM5NjU0.

อุดมลักษณ์ สมพงษ์. 2560. **คู่มือปฏิบัติการวิชา พล312 คุณภาพน้ำสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ**. เชียงใหม่: คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

Ahmad, H. I., Verma, A. K., Rani, A. M., Rathore, G., Saharan, N. & Gora, A. H. 2016. Growth, non-specific immunity and disease resistance of Labeo rohita against Aeromonas hydrophila in biofloc systems using different carbon sources. **Aquaculture**, 457, 61-67.

AOAC. 1990. **Official Methods of Analysis**. Washington DC: Association of Official Analytical Chemists.

AOAC. 2000. **Official Methods of Analysis of AOAC: Metal and other Element**. Washington DC: Association of Official Analytical Chemists.

Avnimelech, Y. 2015. **Biofloc Technology**. Baton Rouge: The World Aquaculture

Society.

Azim, M. E. & Little, D. C. 2008. The biofloc technology (BFT) in indoor tanks: Water quality, biofloc composition, and growth and welfare of Nile tilapia (Oreochromis niloticus). **Aquaculture**, 283(1), 29-35.

Cardona, E., Saulnier, D., Lorgeoux, B., Chim, L. & Gueguen, Y. 2015. Rearing effect of biofloc on antioxidant and antimicrobial transcriptional response in Litopenaeus stylirostris shrimp facing an experimental sub-lethal hydrogen peroxide stress. **Fish & Shellfish Immunology**, 45(2), 933-939.

Chen, X., Luo, G., Tan, J., Tan, H. & Yao, M. 2020. Effects of carbohydrate supply strategies and biofloc concentrations on the growth performance of African catfish (*Clarias gariepinus*) cultured in biofloc systems. **Aquaculture**, 517, 734-808.

Ekasari, J., Rivandi, D. R., Firdausi, A. P., Surawidjaja, E. H., Zairin, M., Bossier, P. & De Schryver, P. 2015. Biofloc technology positively affects Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) larvae performance. **Aquaculture**, 441, 72-77.

Ekasari, J., Suprayudi, M. A., Wiyoto, W., Hazanah, R. F., Lenggara, G. S., Sulistiani, R., Alkahfi, M. & Zairin, M. 2016. Biofloc technology application in African catfish fingerling production: The effects on the reproductive performance of broodstock and the quality of eggs and larvae. **Aquaculture**, 464, 349-356.

Manal, M.A., Maather, M.M., Omnia, E., Amina, A. 2018. Spirulina (*Arthrospira platensis*) supplementation improves growth performance, feed utilization, immune response, and relieves oxidative stress in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) challenged with *Pseudomonas fluorescens.* **Fish&Shellfish Immunology**, 72, 291-300.

Sardar, M. R., Thompson K.D., Penman D.J. & McAndrew B. J. 2001. Immune responses of Nile tilapia clones developmental and comparative. **Immunology**, 25, 37-46.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

1. ค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH) (อุดมลักษณ์, 2560)

วิธีการ

1. เทตัวอย่างน้ำลง Beaker
2. ล้างปลาย Electrode ของเครื่องวัด pH ด้วยน้ำกลั่นแล้วซับด้วยกระดาษชำระให้แห้ง
3. จุ่มปลาย Electrode ของเครื่องวัด pH ลงในน้ำตัวอย่าง
4. กดปุ่มคำว่า pH (ค่าที่ได้จะรอจนกว่าตัวเลขนิ่ง)
5. วัดเสร็จให้ล้างด้วยน้ำกลั่น และซับด้วยกระดาษ (เพื่อรอวัดผลในครั้งถัดไป)

2. ออกซิเจนละลาย (Dissolved Oxygen) วิธีวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนละลาย โดยวิธี Azide modification หรือ Winkler method

อุปกรณ์

1. ขวด BOD
2. อุปกรณ์ในการไตเตรต
3. อุปกรณ์เครื่องแก้ว

สารเคมี

1. สารละลาย แมงกานีสซัลเฟต ($MnSO_4$)

ละลายแมงกานีสซัลเฟต ($MnSO_4$.4H2O) 480 กรัม หรือ ($MnSO_4.2H_2O$) 400 กรัมหรือ($MnSO_4.H_2O$) 364 กรัม ในน้ำกลั่น และปรับปริมาตรให้ได้ 1,000 มิลลิลิตร

2. สารละลายอัลคาไลไอโอไดด์เอไซด์ (Alkali-iodide-azide regent; AIA)

- สำหรับน้ำตัวอย่างที่มีปริมาณ DO ที่จุดอิ่มตัว (Saturation point) หรือต่ำกว่าจุดอิ่มตัว (แหล่งน้ำทั่วไป)

ละลาย NaOH 500 กรัม (หรือ KOH 700 กรัม) + NaI 135 กรัม (หรือ KI 150 กรัม) ในน้ำกลั่น 250 มิลลิลิตร เติม NaN_3 10 กรัม (ละลายในน้ำกลั่น 40 มิลลิลิตร) แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 1,000 มิลลิลิตร

- สำหรับน้ำตัวอย่างที่มีปริมาณ DO มากกว่าจุดอิ่มตัว (แหล่งน้ำที่มีสาหร่ายแพลงก์ตอนพืชหรือพืชน้ำปริมาณมาก และมีแสงแดดจัด)

ละลาย NaN_3 10 กรัม ในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร แล้วเติม NaOH 480 กรัม และ NaI 750 กรัม กวนให้ละลายผสมเป็นสารละลายเดียวกัน

3. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (H_2SO_4)
4. น้ำแป้ง

ละลายแป้ง 2-4 กรัมและละลาย Salicylic acid 0.2 กรัม ในน้ำกลั่นที่ร้อน 100 มิลลิลิตร

5. สารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3.5H_2O$)

ละลาย $Na_2S_2O_3.5H_2O$ 6.205 กรัม ในน้ำกลั่นแล้ว เติมสารละลาย NaOH 6 นอร์มัล 1.5 มิลลิลิตร หรือ NaOH 0.4 กรัม จากนั้นเจือจางให้ได้ 1000 มิลลิลิตร

วิธีการ

1. เก็บน้ำด้วยขวด BOD (ระวังอย่าให้มีฟองอากาศ) เติมสารละลายแมงกานีสซัลเฟต ($MnSO_4$) และสารละลายอัลคาไลไอโอไดด์เอไซด์ (Alkali-iodide-azide regent) อย่างละ 1 มิลลิลิตร (โดยให้ปลายปิเปตจุ่มใต้ผิวน้ำ) ปิดจุก เขย่าและคว่ำขวดขึ้นลงตั้งทิ้งให้ตกตะกอน

2. เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น (H_2SO_4) 1-2 มิลลิลิตร ปิดจุก แล้วเขย่าและคว่ำขวดขึ้นลงจนกระทั่งตะกอนละลายหมด

3. ตวงสารละลายข้อ 2 มา 100 มิลลิลิตร แล้วไตเตรตกับสารละลาย $Na_2S_2O_3.5H_2O$ 0.025 นอร์มัล จนกระทั่งสีสารละลายจางลง หลังจากนั้นเติมน้ำแป้ง 2-3 หยด (สีสารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน) แล้วไตเตรตต่อจนสารละลายกลายเป็นสีขาวใส

4. บันทึกปริมาตรสารละลาย $Na_2S_2O_3.5H_2O$ 0.025 N ที่ใช้ไป

5. คำนวณปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ

ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร) = ปริมาตรสาร $Na_2S_2O_3.5H_2O$ 0.025 นอร์มัล ที่ใช้ไป(มิลลิลิตร) × 2

3. แอมโมเนีย (Ammonia) วิธีวิเคราะห์แอมโมเนีย โดยวิธี Phenate method

อุปกรณ์

1. Spectrophotometer และ Cuvette
2. กระดาษกรอง
3. อุปกรณ์เครื่องแก้ว เช่น ขวดรูปชมพู่ ปิเปต

สารเคมี

1. Oxidizing solution

เตรียมสารโซเดียมไฮโปคลอไรด์ (5%) หรือ ใช้น้ำยาฟอกสี เช่น ไฮเตอร์หรือคลอรอกซ์ที่มีคลอรีนประมาณ 5% จำนวน 10 มิลลิลิตร ผสมกับน้ำกลั่น 40 มิลลิลิตร (ควรเติมน้ำกลั่นประมาณ 30 มิลลิลิตร ก่อนปรับ pH) ปรับ pH ของสารละลายให้อยู่ระหว่าง 6.5-7.0 ด้วยสารละลายกรด HCl (ความเข้มข้น 1:2 (กรด:น้ำกลั่น) ปรับปริมาตรสารทั้งหมดให้เป็น 50 มิลลิลิตร สารละลายนี้ควรเตรียมใหม่ทุกอาทิตย์

2. Rochelle salt solution ($KNaC_4H_4O_6.4H_2O$)

ละลายสาร Rochelle salt จำนวน 50 กรัม ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร แล้วต้ม 30 นาที ทิ้งให้เย็นแล้วเติม Manganous sulphate ($MnSO_4$) 50 มิลลิกรัม เติมน้ำกลั่นที่ปราศจากแอมโมเนียให้ได้ปริมาตรครบ 100 มิลลิลิตร

3. Phenate solution

ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 2.5 กรัม และฟีนอล (Phenol) 10 กรัม ในน้ำกลั่นที่ปราศจากแอมโมเนียให้ได้ปริมาตรครบ 100 มิลลิลิตร ให้เก็บแช่ไว้ในตู้เย็น (ควรเตรียมใหม่ทุกอาทิตย์)

4. Standard ammonium chloride solution

ชั่ง NH_4Cl ที่อบแห้ง 3.819 กรัม ละลายในน้ำกลั่นที่ปราศจากแอมโมเนีย ให้ได้ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร จะได้สารละลายแอมโมเนียมาตรฐานที่มีความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร จากนั้นดูดสารละลาย มาจำนวน 5 มิลลิลิตร Dilute ด้วยน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร จะได้สารละลายแอมโมเนียมาตรฐานที่มีความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร จากนั้นดูดสารละลาย 15 มิลลิลิตร Dilute ด้วยน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร จะได้สารละลายแอมโมเนียมาตรฐานที่มีความเข้มข้น 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้เป็น Standard ammonium chloride solution

วิธีการ

1. ดูดน้ำตัวอย่างที่ผ่านการกรองด้วยกระดาษกรอง จำนวน 10 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ 50 หรือ 125 มิลลิลิตร

2. ขณะที่เขย่าน้ำตัวอย่างในขวดรูปชมพู่ ให้เติมสารละลาย

- Rochelle salt solution 1 หยด
- Oxidizing solution 0.5 มิลลิลิตร
- Phenate solution 0.6 มิลลิลิตร

3. ตั้งไว้อย่างน้อย 15 นาที เพื่อให้สารละลายทำปฏิกิริยาเต็มที่

4. นำไปวัดค่าการดูดซับแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 630 นาโนเมตร (nm) พร้อมกับ Reagent blank โดยใช้น้ำกลั่น และเตรียม Standard solution โดยใช้ Standard Ammonium chloride (0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร) อย่างละ 10 มิลลิลิตร แทนตัวอย่างน้ำและเติมสารละลายใน ข้อ 2

5. คำนวณค่าความเข้มข้นแอมโมเนียโดยเปรียบเทียบกับสารละลายแอมโมเนียมาตรฐาน ดังนี้ คำนวณปริมาณ Total ammonia-nitrogen ด้วยสมการ

$$C1 = A1 \text{ หรือ } C2 = \frac{C1 \times C2}{A1}$$

$$C2 = A2$$

โดยที่ C1 = ความเข้มข้นของ Total ammonia-nitrogen ใน Standard solution (0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร)

C2 = ความเข้มข้นของ Total ammonia-nitrogen ใน Sample

A1 = ค่า Absorbance ของ Standard solution

A2 = ค่า Absorbance ของ Sample

4. ไนไตรท์ (Nitrite) วิธีวิเคราะห์ไนไตรท์โดยวิธีการเทียบสี (Colorimetric method)

อุปกรณ์

1. Spectrophotometer และ Cuvette
2. กระดาษกรอง
3. อุปกรณ์เครื่องแก้ว เช่น ขวดรูปชมพู่ ปิเปต

สารเคมี

1. Diazotizing Reagent

ชั่งสาร Sulfanilamide 5 กรัม ละลายในสารละลายกรดเกลือ โดยใช้กรดเกลือ (HCl) เข้มข้นปริมาตร 50 มิลลิลิตร ละลายในน้ำกลั่น 300 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 500 มิลลิลิตร

2. Coupling Reagent

ชั่งสาร N - (1-napthyl) – ethylenediamine-dihydrochloride 0.500 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร เก็บในขวดสีชา เตรียมสารละลายใหม่ทุกเดือนหรือเมื่อสารละลายเป็นสีน้ำตาล

3. Standard Nitrite Solution

เตรียมสารละลาย Sodium nitrite ($NaNO_2$) 0.4925 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร (ได้สารละลายความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร NO_2^-N) ดูดสารละลาย Standard Nitrite Solution (ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร NO_2^-N) จำนวน 10 มิลลิลิตร เจือจางด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร (ได้สารละลายความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร NO_2^-N) ใช้สารละลาย NO_2^-N ที่มีความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็น Standard Nitrite Solution เจือจาง

วิธีการ

1. ตวงน้ำตัวอย่างที่กรองด้วยกระดาษกรอง 50 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ 125 มิลลิลิตร

2. เติมสารละลาย Diazotizing Reagent 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันทิ้งไว้ 2-4 นาที แล้วเติมสารละลาย Coupling Reagent 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันทิ้งไว้อย่างน้อย 10 นาที แต่ไม่เกิน 2 ชั่วโมง

3. นำไปวัดค่าการดูดซับแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่คลื่น 543 นาโนเมตร (nm) พร้อมกับ Reagent blank โดยใช้น้ำกลั่น แทนน้ำตัวอย่างและเติมสารละลายใน ข้อ 2 และ 3

4. คำนวณค่าความเข้มข้น nitrite nitrogen (NO_2^-N) จากกราฟมาตรฐานที่ได้

5. แปลงค่าความเข้มข้น nitrite nitrogen (NO_2^-N) ให้เป็น Nitrite (มิลลิกรัมต่อลิตร) โดยคูณด้วย 3.28

5. ไนเตรท (Nitrate) วิธีการวิเคราะห์ไนเตรท-ไนโตรเจน โดยวิธีไฮดราซีน

สารเคมี

1. Diazotizing Reagent

ชั่งสารละลาย Sulfanilamide 5 กรัม ละลายในสารละลายกรดเกลือ (HCl) เข้มข้น ปริมาตร 50 มิลลิลิตร น้ำกลั่น 300 มิลลิลิตร) แล้วเติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 500 มิลลิลิตร

2. Coupling Reagent

ชั่งสาร N-(1-napthyl)-ethylenediamine-dihydrochlorida 0.500 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร เก็บในขวดสีชา เตรียมสารละลายใหม่ทุกเดือนหรือเมื่อสารละลายเป็นสีน้ำตาล

3. Stock Nitrate Solution (เข้มข้น)

ชั่งสารละลาย KNO_3 ที่ผ่านการอบแห้ง 0.7218 กรัม ละลายในน้ำกลั่นให้ได้ 1,000 มิลลิลิตรสารละลายนี้ 1 มิลลิลิตร = 100 ไมโครกรัม (µg) NO_3-N

4. Standard Nitrate Solution

ดูดสารละลาย Stock Nitrate Solution (เข้มข้น) ในข้อ 5 ด้วย Volumetric pipette จำนวน 50 มิลลิลิตร ละลายในน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตรครบ 500 มิลลิลิตร สารละลายที่ได้ 1.00 มิลลิลิตร มีไนเตรทไนโตรเจน 1.00 ไมโครกรัม

5. สารละลายฟีนอล

ละลายฟีนอล 4.6 กรัมด้วยน้ำกลั่น แล้วทำให้มีปริมาตรทั้งหมดเป็น 100 มิลลิลิตร

6. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.45 กรัม ด้วยน้ำกลั่น แล้วทำให้มีปริมาตรทั้งหมดเป็น 100 มิลลิลิตร

7. สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต (Copper sulfate solution)

ชั่งสารละลาย $CuSO_4.5H_2O$ จำนวน 15.6 มิลลิกรัม ละลายในน้ำกลั่นให้ได้ 100 มิลลิลิตร

8. สารละลายไฮดราซีนซัลเฟต

ละลายไฮดราซีนซัลเฟต 0.725 กรัม ละลายในน้ำกลั่นให้ได้ 100 มิลลิลิตร

9. สารละลายผสมชนิดที่หนึ่ง

ผสมสารละลายในข้อ 5 และ 6 อย่างละเท่ากัน แล้วคนให้ทั่ว

10. สารละลายผสมชนิดที่สอง

ผสมสารละลายในข้อ 7 และ 8 อย่างละเท่ากัน แล้วคนให้ทั่ว

11. อะซิโตน

วิธีการวิเคราะห์

1. กรองน้ำผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 ประมาณ 50 มิลลิลิตร
2. ปิเปตน้ำตัวอย่าง 10 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองขนาด 20 มิลลิลิตร
3. เติมสารละลายผสมชนิดที่หนึ่ง 0.5 มิลลิลิตร ตามด้วยสารละลายผสมชนิดที่สอง 0.25 มิลลิลิตร
4. ปิดปากหลอดด้วยจุกยางหรือฝาเกลียว แล้วเขย่าให้เข้ากัน
5. นำไปอบในที่มืด อุณหภูมิ 30 C เป็นเวลา 15-20 ชม.
6. นำสารละลายจากข้อ 5 มาเติมอะซิโตน 0.4 มิลลิลิตร เขย่าแล้วตั้งทิ้งไว้ 2 นาที
7. เติมสารละลาย Diazotizing Reagent ลงไป 0.2 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้นาน 2 นาที แต่ไม่เกิน 8 นาที
8. เติมสารละลาย Coupling Reagent (NED-EDTA) 0.2 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันทันที ตั้งทิ้งไว้นาน 10 นาที แต่ไม่เกิน 2 ชั่วโมง
9. นำสารละลายที่ได้จากข้อ 8 ไปท้าการวัด absorbance ที่ 543 นาโนเมตร
10. นำค่า absorbance ที่ได้ไปหาความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนจาก calibration curve

11. คำนวณหาปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน จากสูตรในสมการ

$$\text{มิลลิกรัมต่อลิตร } NO_3\text{-N} = \frac{\text{มิลลิกรัมต่อลิตร ที่หาได้จากกราฟ} \times 10}{\text{มิลลิลิตร น้ำตัวอย่าง- มิลลิกรัมต่อลิตรของไนไตรท์-ไนโตรเจน}}$$

12. ทำการแปลงค่า ไนเตรท-ไนโตรเจน ให้เป็นไนเตรท (มิลลิกรัมต่อลิตร) โดยคูณด้วย 4.43

6. ฟอสฟอรัส (Phosphorus) ออร์โธฟอสเฟต โดยวิธี Stannous Chloride

อุปกรณ์

1. Spectrophotometer และ Cuvette
2. กระดาษกรอง
3. อุปกรณ์เครื่องแก้ว เช่น ขวดรูปชมพู่ ปิเปต

สารเคมี

1. Ammonia Molybdate solution

เตรียมสารละลาย Ammonia Molybdate $(NH_4)_6MO_7.4H_2O$ จำนวน 5 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 35 มิลลิลิตร นำสารละลายดังกล่าว เติมลงในสารละลายกรดซัลฟิวริก (ละลายกรดซัลฟิวริก 56 มิลลิลิตร ลงในน้ำกลั่น 80 มิลลิลิตร) แล้วเติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตรครบ 200 มิลลิลิตร

2. Stannous Chloride Solution

เตรียมสารละลาย Stannous Chloride $(SnCl_2.2H_2O)$ จำนวน 2.5 กรัม ละลายในกลีเซอรัล (Glycerol) ในปริมาตร 100 มิลลิลิตร โดยใช้อ่างน้ำร้อน (Water bath) ในการทำละลาย

3. Standard Phosphate Solution

เตรียมสารละลาย KH_2PO_4 จำนวน 0.2195 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร (ได้สารละลายเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร PO_4^{3-}-P) ดูดสารละลาย Standard Phosphate Solution ที่ได้มา จำนวน 50 มิลลิลิตร เจือจางด้วยน้ำกลั่นให้ปริมาตรครบ 500 มิลลิลิตร (ได้สารละลายเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร PO_4^{3-}-P) เพื่อใช้ในการเตรียมกราฟมาตรฐานการเตรียมสารละลาย Standard Phosphate Solution ที่ความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร PO_4^{3-}-P ทำการเจือจาง

วิธีการ

1. ดูดน้ำตัวอย่างที่ผ่านการกรองด้วยกระดาษกรอง 25 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ ขนาด 125 มิลลิลิตร

2. เติมสารละลาย Ammonia Molybdate Solution จำนวน 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน และ เติมสารละลาย Stannous Chloride Solution 5 หยด เขย่าให้เข้ากันทิ้งไว้ 10 นาที แต่ไม่เกิน 12 นาที

3. นำไปวัดค่าการดูดซับแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่คลื่น 690 นาโนเมตร (nm) พร้อมกับ Reagent blank โดยใช้น้ำกลั่น แทนตัวอย่างน้ำและเติมสารละลายใน ข้อ 2

4. คำนวณค่าความเข้มข้นฟอสฟอรัส (Phosphorus) จากกราฟมาตรฐาน

5. ทำการแปลงค่า PO_4^{3-}-P ให้เป็นฟอสเฟต (PO_4^{3-}) (มิลลิกรัมต่อลิตร) โดยคูณด้วย 3.06

ภาคผนวก ข

วิธีวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการอาหาร

1. การวิเคราะห์หาความชื้น (นิวุฒิ, 2548)

ในการวิเคราะห์ทางเคมีของอาหารซึ่งสิ่งแรกที่ต้องทราบ คือความชื้นที่มีอยู่วัสดุอาหาร ดังนั้นการหาความชื้นในอาหารจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อหาค่าตัวอย่างเปียกแล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณกลับ การวิเคราะห์หาความชื้นของตัวอย่างอาหารทำได้หลายวิธี โดยวิธีวิเคราะห์ที่ง่ายที่สุดคือการทำให้แห้ง ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้คำนวณหาปริมาณน้ำที่สูญเสียไปหลังจากที่ทำให้วัสดุแห้งแล้ว แต่ข้อเสียคือ วิธีนี้จะเป็นการยากที่จะทำให้ตัวอย่างอาหารแห้งสนิท โดยขณะทำให้แห้งอาจทำให้สารอาหารบางชนิดในตัวอย่างสูญสลายไปด้วย รวมถึงสารอื่น ๆ ที่สามารถระเหยได้นอกจากน้ำก็จะสูญเสียไปด้วย

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เตาอบแห้ง (drying oven)
2. จานอลูมิเนียม (aluminium dish)
3. โถอบแห้ง (desicator)
4. คีม (tong)
5. เครื่องชั่งไฟฟ้า (analytical balance)
6. ช้อนตักสาร
7. ตัวอย่างอาหาร

วิธีการ

1. นำขวดชั่งไปอบจนได้น้ำหนักที่แน่นอน แล้วนำเอามาชั่งน้ำหนัก และจดน้ำหนัก (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)

2. ตักตัวอย่างอาหารใส่ขวดชั่ง ประมาณ 2-3 กรัม ทำการชั่งน้ำหนักแล้วจดน้ำหนัก (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)

3. นำขวดชั่งที่บรรจุตัวอย่างอาหารไปอบในตู้ที่มีอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ในระหว่างอบจะต้องเปิดฝาขวดชั่ง

4. นำขวดชั่งออกจากตู้อบ แล้วนำไปใส่โถอบแห้งทิ้งไว้ให้เย็น ปิดฝาขวดชั่งแล้วนำไปชั่งและจดน้ำหนักไว้ (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)

5. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น = $\frac{(ก-ข) \times 100}{ค}$

เมื่อ ก = น้ำหนักขวดชั่งรวมตัวอย่างก่อนอบแห้ง

ข = น้ำหนักขวดตัวอย่างหลังอบแห้งจนได้น้ำหนักที่แน่นอน

ค = น้ำหนักตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์

2. การวิเคราะห์เถ้า

เถ้า (ash) หมายถึง ปริมาณสารอนินทรีย์ที่มีอยู่ในอาหาร หลังจากที่เผาพลาญสารอนินทรีย์หมดแล้ว ในการวิเคราะห์มักใช้ความร้อนในการเผาพลาญสารอนินทรีย์ ดังนั้น ค่าเถ้า (ash) ที่ได้จึงไม่จำเป็นต้องเท่ากับปริมาณสารเกลือแร่ทั้งหมดที่มีอยู่ในอาหารในตอนแรก สารอนินทรีย์หรือเกลือแร่บางส่วนจะสูญเสียไปโดยการระเหย เพราะความร้อนที่ใช้ในการเผานั่นเอง ค่าเถ้า (ash) ที่ได้จึงเป็นตัวบ่งชี้ถึงคุณภาพของสารอาหารนั้นๆ

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ถ้วยกระเบื้อง (dish crucible) หรือ foil
2. โถอบแห้ง (desicator)
3. เตาเผา (muffle furnace)
4. แผ่นความร้อน (hot plate)
5. ตู้ควัน (fume cupboard)
6. คีม (tong)
7. เครื่องชั่งไฟฟ้า (analytical balance)
8. ช้อนตักสาร
9. ตัวอย่างอาหาร

วิธีการ

1. ทำเครื่องหมายบนถ้วยกระเบื้องที่จะใส่ตัวอย่างอาหาร โดยอาจเขียนหมายเลขกำกับไว้ตามลำดับของตัวอย่างอาหาร นำตัวอย่างอาหารไปเผาในเตาอุณหภูมิ 550 – 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

2. นำถ้วยกระเบื้องที่เผาเรียบร้อยแล้วออกจากเตาเผา ตั้งทิ้งไว้สักครู่บนแผ่นกระเบื้องเคลือบ แล้วนำไปตั้งให้เย็นในโถอบแห้ง จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักและจดบันทึกไว้ (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)

3. ตักตัวอย่างใส่ในถ้วยกระเบื้องประมาณ 1-2 กรัม ทำการชั่งน้ำหนัก (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) และจดบันทึกไว้

4. นำถ้วยกระเบื้องพร้อมตัวอย่างไปเผาบนแผ่นความร้อนในตู้ควันจนกระทั่งหมดควัน

5. นำถ้วยกระเบื้องพร้อมตัวอย่างไปเผาต่อในเตาเผาที่มีอุณหภูมิ 550 – 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จนเถ้ามีสีขาว นำถ้วยกระเบื้องที่เผาเรียบร้อยแล้วออกมาตั้งทิ้งไว้สักครู่บนแผ่นกระเบื้อเคลือบแก้ว แล้วนำไปตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในโถอบแห้ง เสร็จแล้วนำไปชั่งน้ำหนักและจดบันทึกไว้ (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)

* หมายเหตุ หากเถ้ายังไม่ขาว (แสดงว่ายังมีคาร์บอนเหลืออยู่) ให้นำถ้วยกระเบื้องมาตั้งทิ้งไว้ให้เย็นบนกระเบื้องเคลือบ แล้วหยดสารละลายแอมโมเนียมคาร์บอเนต 4-5 หยด เพื่อให้เถ้าเกิดความชื้น จากนั้นนำไปประเหยให้แห้งบนแผ่นความร้อน แล้วนำไปเผาต่อจนได้เถ้าสีขาว

6. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์เถ้าทั้งหมด = $\frac{(ก - ข) \times 100}{ค}$

เมื่อ ก = น้ำหนักถ้วยกระเบื้องรวมตัวอย่าง

ข = น้ำหนักถ้วยกระเบื้องหลังเผา

ค = น้ำหนักตัวอย่างอาหารที่ใช้ในการวิเคราะห์

3. การวิเคราะห์หาโปรตีน

การวิเคราะห์หาระดับโปรตีนในอาหาร ทำได้โดยการวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนที่อยู่ในสารอาหารนั้น ๆ เนื่องจากไนโตรเจนในสารอาหารส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของโปรตีน ซึ่งปกติในโปรตีนจะมีปริมาณไนโตรเจนอยู่ 16 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นเมื่อทราบปริมาณไนโตรเจนที่ได้จะต้องคูณด้วย จึงจะได้ค่าเปอร์เซ็นต์โปรตีนของอาหารที่นำมาวิเคราะห์ วิธีวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดทำได้โดยการเปลี่ยนไนโตรเจนที่มีอยู่ในอาหารให้กลายเป็น $(NH_4)_2SO_4$ โดยนำตัวอย่างอาหารไปย่อยใน H_2SO_4 เข้มข้น จากนั้นเติมสารละลาย NaOH เข้มข้น เพื่อให้ไนโตรเจนเปลี่ยนไปอยู่ในอยู่ในรูป NH_3 แล้วนำมากลั่นเพื่อให้เกิดก๊าซ NH_3 ระเหยแยกออกมา โดยทำการจับก๊าซ NH_3 จุดนี้ด้วยสารละลาย H_2SO_4 ในปริมาณที่แน่นอนพร้อม Indicator จากนั้นนำสารละลายที่ได้มา titrate ด้วยสารละลาย NaOH ที่ทำให้เป็นกลางด้วยปริมาณของที่ได้จากไนโตรเจนในอาหาร จากนั้นคำนวณหาปริมาณของไนโตรเจนได้ตามต้องการ

ขั้นตอนการวิเคราะห์หาโปรตีน สามารถแยกออกเป็น 4 ขั้นตอน

1.O.M. + H_2SO_4	⟶	($NH_40_2SO_4$ + CO_2 + H_2O	(digestion)
2.NaOH + $(NH_4)_2SO_4$	⟶	NH_3 + Na_2SO_4	(distillation)
3.2NH_3 + H_2SO_4	⟶	$(NH_4)_2SO_4$	(fixation)
4.H_2SO_4 + 2NaOH	⟶	(Na_2SO_4 + H_2O	(titration)

สารเคมี

1. สารเร่งปฏิกิริยา sodium sulfate : copper sulfate อัตรา 20 : 1 หรือ

Potassium sulfate : copper sulfate อัตรา 15 : 1

2. screened methyl red indicator ละลาย methyl red 0.2 กรัม และ methylene blue 0.1 กรัม ใน Ethanol 96% 100 ml.

3. NaOH (45%)

4. H_2SO_4 เข้มข้น

5. H_2SO_4 มาตรฐาน (1.0 N)

6. NaOH มาตรฐาน (1.0 N)

7. ลูกแก้ว

8. ตัวอย่างอาหาร

อุปกรณ์

1. เครื่องทำความร้อน

2. เครื่องกลั่น

3. Kjeldahl flask ขนาด 800 ml.

4. ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 ml.

5. กระบอกตวง ขนาด 100, 500 ml.

6. ปิเปต ขนาด 25, 50 ml.

7. บิวเรต

8. เครื่องชั่ง

9. กระบอกฉีดพร้อมน้ำกลั่น

10. กระดาษกรอง

วิธีการ

1. ทำการชั่งตัวอย่างอาหาร (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) บนกระดาษกรอง (โดยตัวอย่างอาหารที่มีระดับโปรตีนสูงใช้ 0.5 – 1 กรัม) แล้วห่ออาหารด้วยกระดากรองและพับใส่ Kjeldahl flask แล้วเติมสารเร่งปฏิกิริยาประมาณ 2-3 ช้อน และลูกแก้ว 2 ลูก แล้วเติม H_2SO_4 เข้มข้น จำนวน 20 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน (โดยต้องทำ blank พร้อมกันไปด้วย)

2. ทำการย่อยตัวอย่างอาหาร โดยนำ Kjeldahl flask ไปวางต่อกับเครื่องทำความร้อน เปิดเครื่องดูดอากาศของ hoot ให้ความร้อนน้อยๆ ก่อนจนลูกแก้วหยุดกระเด็นจึงให้ความร้อนเต็มที่ ระหว่างการย่อยให้หมุน Kjeldahl flask เป็นครั้งคราว ทำการย่อยจนสารละลายมีสีเขียวใส

3. ปิดเครื่องทำความร้อน จากนั้นปล่อยทิ้งไว้ให้ Kjeldahl flask เย็น (หากบริเวณคอ Kjeldahl flask มีจุดสีดำ ๆ เกาะติดอยู่ ให้ใช้น้ำกลั่นล้างลงไปแล้วย่อยต่อจนใสทิ้งไว้ให้เย็น) จากนั้นเมน้ำกลั่นลง 50 มิลลิลิตร

4. เตรียมสารละลาย H_2SO_4 มาตรฐาน (1.0 N) จำนวน 50 มิลลิลิตร ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วเติม Screened methyl red indicator 4 หยด นำมาต่อเข้ากับปลายเครื่องกลั่น โดยให้ปลายของหัวกลั่นจุ่มในสารละลาย เปิดน้ำผ่านเครื่องควบแน่นของเครื่องกลั่น

5. นำ Kjeldahl flask ที่ย่อยแล้วมาเติมสารละลาย NaOH (เข้มข้น 45%) จำนวน 80 มิลลิลิตร โดยเติมลงไปช้าๆ แล้วนำไปต่อเข้ากับเครื่องกลั่นทันที เขย่าเป็นรูปวงกลมให้สารละลายเข้ากัน

6. เปิดเครื่องทำความร้อนของเครื่องกลั่น จนแอมโมเนียถูกกลั่นออกมาประมาณ 150 มิลลิลิตรในขวดรูปชมพู่ จากนั้นเลื่อนขวดรูปชมพู่ออกจากปลายเครื่องกลั่น โดยให้ปลายท่ออยู่เหนือสารละลายใช้น้ำกลั่นล้างปลายท่อ จากนั้นนำขวดรูปชมพู่ออก แล้วใส่ขวดรูปชมพู่ที่มีน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร ลงไปแทนเพื่อให้เครื่องกลั่นดูดทำความสะอาดเอง แล้วปิดเครื่องทำความร้อนเฉพาะเตา

7. นำสารละลายที่ได้ (สีไวน์แดง) มาไตเตรตกับสารละลาย NaOH (มาตรฐาน 1 N) จนสารละลายเป็นสีเขียวใส

8. การคำนวณ

NaOH จำนวน 1 ml. มาตรฐาน 0.1 N ทำปฏิกิริยาได้พอดีกับไนโตรเจน 0.014 กรัม

$$\text{เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน} = \frac{(\text{ข-ก}) \times 0.014 \times \text{ค} \times 100}{\text{ต}}$$

เมื่อ ก = มิลลิลิตรของ NaOH มาตรฐานที่ใช้ในการไตเตรตสารละลายจากตัวอย่าง

ข = มิลลิลิตรของ NaOH มาตรฐานที่ใช้ในการไตเตรตสารละลายจาก Blank

ค = ความเข้มข้นของสารละลาย NaOH มาตรฐานที่ใช้

ต = น้ำหนักตัวอย่างอาหารที่ใช้ในการวิเคราะห์

ดังนั้น เปอร์เซ็นต์ crude protein = เปอร์เซ็นต์ ไนโตรเจน × 6.25

4. การวิเคราะห์หาไขมัน

การวิเคราะห์หาไขมัน (Ether extract หรือ crude Fat) สามารถทำได้ด้วยการสกัดตัวอย่างอาหาร โดยใช้ตัวทำละลายไขมันที่เป็นสารละประเภท organic solvent ตัวใดตัวหนึ่งเช่น petroleum ether, hexane. Dichloromethane และ benzene เป็นต้น โดยใช้ชุดอุปกรณ์ที่เรียกว่า Soxhlet extract ต่อเข้ากับระบบเครื่องทำความร้อนและเครื่องควบแน่น (condenser) แต่ต้องเปิดระบบน้ำไว้เพื่อช่วยให้เกิดการควบแน่น ซึ่งอุปกรณ์ครบชุดทั้งหมดเรียกว่า Extraction apparatus โดยส่วนของสัตว์ที่สามารโดยส่วนของสัตว์ที่สามารถละลายได้ในตัวทำละลายได้แก่ fat, oil และ waxes ส่วนในพืช carotene, chlorophyll และ sterol

สารเคมี

1. Petroleum ether หรือ hexane หรือ dichloromethane

เครื่องมือ และอุปกรณ์

1. ชุดเครื่องมือ extraction apparatus

2. ขวดก้นแบน

3. Thimble

4. ตู้อบ

5. โถอบแห้ง

6. สำลี

7. คีม

8. ถุงมือ

9. ตัวอย่างอาหาร

วิธีการ

1. นำขวดก้นแบนไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เพื่อให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำขวดก้นแบนที่อบแล้วมาวางทิ้งไว้ให้เย็นในโถอบแห้ง ชั่งน้ำหนัก (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) และจดบันทึกไว้ (เขียนหมายเลขกำกับ)

2. ทำการชั่งตัวอย่างประมาณ 2 กรัม บนกระดาษกรองและจดบันทึกน้ำหนัก (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ทำการห่อตัวอย่างด้วยกระดากรองแล้วใส่ลงใน thimble แล้วปิดด้วยสำลีบางๆ นำ thimble ไปใส่ใน Soxhlet และต่อ Soxhlet เข้ากับเครื่องควบแน่น

3. เติม Petroleum ether, hexane หรือ dichloromethane โดยเลือกใช้ตัวใดหนึ่ง เติมลงในขวดก้นแบนประมาณ 2 ใน 3 ของขวด นำมาต่อเข้ากับ Soxhlet และเครื่องให้ความร้อน

4. เปิดระบบน้ำให้ผ่านเครื่องควบแน่น และเปิดเครื่องให้ความร้อน ใช้ความร้อนประมาณ 20 -30 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการสกัดเป็นเวลานาน 8 ชั่วโมง

5. ทำการถ่ายสารละลายออกจาก Soxhlet โดยให้เหลือสารละลายอยู่ในขวดก้นแบนให้น้อยที่สุด และถอด Soxhlet ออกจากขวดก้นแบนและเครื่องควบแน่น วางขวดก้นแบนไว้บนแผ่นความร้อนจนเกือบแห้งสนิท

6. นำขวดก้นแบนมาอบแห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง นำขวดก้นแบนที่อบเรียบร้อยแล้วมาวางทิ้งไว้ให้เย็นในโถอบแห้ง ทำการชั่งน้ำหนักและจดบันทึกไว้ (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)

7. การคำนวณ

$$\text{เปอร์เซ็นต์ไขมัน} = \frac{(\text{ข} - \text{ก}) \times 100}{\text{ต}}$$

เมื่อ ก = น้ำหนักขวดก้นแบนก่อนทดลอง

ข = น้ำหนักขวดก้นแบนหลังสกัดไขมันและอบแห้ง

ต = น้ำหนักตัวอย่างอาหาร

5. การวิเคราะห์หาเยื่อใย

การวิเคราะห์เยื่อใยของวัตถุดิบ สามารถทำได้โดยการต้มตัวอย่างด้วยกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) ที่ความเข้มข้น 1.25 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลานาน 30 นาที เมื่อต้มตัวอย่างเรียบร้อยแล้วให้นำตัวอย่างไปกรองจนแห้งสนิท จากนั้นนำกากตัวอย่างที่ได้มาต้มอีกครั้งด้วยโซเดียวไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ความเข้ม 1.25 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 30 นาที นำตัวอย่างมากรองอีกครั้งแล้วนำกากที่ได้ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส แล้วทำการชั่งน้ำหนักของตัวอย่างจากนั้นนำไปเผาในเตาเผา ที่อุณหภูมิ 550-600 องศาเซลเซียส แล้วทำการชั่งน้ำหนักส่วนที่เหลือ ซึ่งน้ำหนักที่ได้นี้จะนำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์เยื่อใย โดยส่วนที่หายไปนั้นคือเยื่อใยหยาบ

สารเคมี

1. กรด H_2SO_4 ที่ความเข้มข้น 1.25 เปอร์เซ็นต์
2. ด่าง NaOH ที่ความเข้ม 1.25 เปอร์เซ็นต์
3. acetone หรือ แอลกอฮอล์
4. antifoam

อุปกรณ์

1. เครื่องให้ความร้อนและเครื่องควบแน่น
2. ถ้วยแก้วกรอง
3. ตู้อบ
4. เตาเผา
5. โถอบแห้ง
6. คีม
7. เครื่องต้มน้ำพร้อมอุปกรณ์
8. กระบอกฉีด
9. เครื่องชั่งไฟฟ้า
10. ตัวอย่างอาหาร (ที่ผ่านการสกัดไขมันออกแล้ว)

วิธีการ

1. นำถ้วยแก้วกรองไปอบในตู้ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เพื่อให้ได้น้ำหนักของถ้วยแก้วกรองที่แน่นอนเป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำมาวางให้เย็นในโถอบแห้ง

2. ทำการชั่งน้ำหนักถ้วยกรองโดยจดบันทึกไว้ นำตัวอย่างอาหารที่วิเคราะห์ใส่ลงในถ้วยแก้วกรองชั่งน้ำหนักจดบันทึกไว้

3. นำถ้วยแก้วกรองไปต่อเข้ากับเครื่องให้ความร้อนและเครื่องควบแน่น แล้วจึงเติมกรด H_2SO_4 จำนวน 150 มิลลิลิตร ลงในท่อ Condenser เปิดน้ำให้ไหลผ่านเครื่องควบแน่น แล้วทำการ

เปิดเครื่อง ทำการต้มตัวอย่างด้วยกรด H_2SO_4 เป็นเวลา 30 นาที (โดยทำการจับเวลาขณะที่สารละลายเดือด) เติม antifoam 3-5 หยด (เพื่อป้องกันการเกิดฟอง)

4. กรองสารละลายออกโดยกดที่ปุ่ม vacuum ด้านข้างพร้อมปรับปุ่มไปที่ vacuum ตรงด้านล่างถ้วยแก้วกรองจนสารละลายแห้งสนิท จากนั้นใช้น้ำร้อนที่เตรียมไว้ล้างลงไปประมาณ 3 ครั้ง (จนกรดหมด) แล้วจึงทำการปิดที่ปุ่ม vacuum ด้านข้างพร้อมปรับปุ่ม vacuum ไปที่ closes

5. เติมด่าง NaOH จำนวน 150 มิลลิลิตร ลงไปในท่อ Condenser ทำการต้มตัวอย่างด้วยด่าง NaOH เป็นเวลา 30 นาที (โดยทำการจับเวลาขณะที่สารละลายเดือด) เติม antifoam 3-5 หยด (เพื่อป้องกันการเกิดฟอง)

6. กรองสารละลายออกโดยกดไปที่ปุ่ม vacuum ด้านข้างพร้อมปรับปุ่มไปที่ vacuum ตรงด้านล่างถ้วยแก้วกรองจนสารละลายแห้งสนิท จากนั้นใช้น้ำร้อนที่เตรียมไว้ล้างลงไปประมาณ 3 ครั้ง (จนด่างหมด) และล้างด้วยน้ำเย็น 1 ครั้ง แล้วใช้แอลกอฮอล์หรืออะซิโตนล้างออกอีก 1 ครั้ง เพื่อไล่น้ำออกไปจากนั้นปิดที่ปุ่ม vacuum ไปที่ closes

7. นำถ้วยแก้วกรองออกจากเครื่องกรองโดยปรับคันโยก จากนั้นใช้คีมจับออกมานำไปอบในตู้ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำออกมาวางทิ้งไว้ให้เย็นในโถอบแห้ง ชั่งน้ำหนักและจดบันทึก

8. จากนั้นนำไปเผาต่อในเตาที่อุณหภูมิ 550-600 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง นำออกมาทิ้งไว้ให้เย็นในกระเบื้องเคลือบก่อน แล้วเก็บไว้ในโถอบแห้งจนเย็น ชั่งน้ำหนัก และจดบันทึกไว้

9. การคำนวณ

$$\text{เปอร์เซ็นต์เยื่อใย} = \frac{(\text{ก} - \text{ข}) \times 100}{\text{ค}}$$

เมื่อ ก = น้ำหนักถ้วยแก้วกรอง + กากหลังอบ

ข = น้ำหนักถ้วยแก้วกรอง + กากหลังอบและหลังเผา

ค = น้ำหนักตัวอย่าง

ภาคผนวก ค

วิธีวิเคราะห์ Lysozyme activity assay

Lysozyme Analysis (Sarder *et al*., 2001)

หลักการ

Lysozyme เป็นโปรตีนในน้ำเลือดที่สามารถทำลายเซลล์แบคทีเรียแกรมลบและบวกได้โดยการทำให้เซลล์แตก ซึ่งสามารถวัดโดยผสม serum กับแบคทีเรียที่ทราบความเข้มข้น Lysozyme ใน serum จะทำให้เซลล์แบคทีเรียแตกและทำให้ความขุ่นของแบคทีเรียค่อยจางลงซึ่งสามารถวัดการเปลี่ยนแปลงความขุ่นได้ด้วย Microplate Reader ที่ 450 nm โดยวัดด้วย Kinetic mode (วัดทุก ๆ 30 วินาที เป็นเวลา 5 นาที)

สารเคมี

1. Freeze-dried lysozyme, from Sigma
2. Freeze-dried *Micrococcus lysodeikficus*, from Sigma
3. Na_2HPO_4, FW 141.96
4. Citric acid, FW 210.14

การเตรียมสารเคมี

1. 0.1 M Phosphate/citrate buffer solution, pH 5,8

(a) ชั่ง Na_2HPO_4 ปริมาณ 7.098 g ใส่ใน Beaker ขนาด 500 ml เติมน้ำกลั่น ละลายให้เข้ากัน แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 500 มิลลิลิตร ด้วย Volumetric flask

(b) ชั่ง Citric acid ปริมาณ 10.507 g ใส่ใน Beaker ขนาด 500 ml เดิมน้ำกลั่น ละลายให้เข้ากัน แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 500 มิลลิลิตร ด้วย volumetric flask

(c) ผสมสารละลาย (a) และ (b) ในอัตราส่วน 1:1 ผสมให้เข้ากันแล้ววัด pH ให้ได้ 5.8 โดยใช้ สารละลาย (a) หรือ (b) ขึ้นกับค่า pH ที่วัดได้

- ถ้า pH ต่ำกว่า 5.8 ให้เติมสารละลาย (a)
- ถ้า pH สูงกว่า 5.8 ให้เติม สารละลาย (b)
- จดบันทึกปริมาตรสารละลาย (a=-308 ml) และ (b= 100 ml) ที่ใช้ เพื่อความรวดเร็วในการเตรียมสารครั้งต่อไป

2. 0.075% Substrate (*Micrococcus lysodeikticus*)

ชั่ง *Micrococcus lysodeikdicus* ปริมาณ 37.5 mg ใส่ใน beaker ขนาด 50 ml เติมสารละลาย (c) ประมาณ 30 มิลลิลิตร ละลายให้เข้ากัน แล้วถ่ายใส่ volumetric flask ขนาด 50 ml เพื่อปรับ ปริมาตรให้ได้ 50 ml

3. Lysozyme standard (*Hen Egg White Lysozyme*): Stock 1 mg/ml หรือ 1000 µg/ml

ชั่ง 10 mg Hen Egg White Lysozyme ใส่ใน volumetric flask ขนาด 10 ml เติมสารละลาย (c) 10 ml ละลายให้เข้ากัน แล้วแบ่งใส่หลอดๆละ 1 ml (microtube 1.5 ml) เต็มที่ -80 องศาเซลเซียส จนกว่าจะใช้

วิธีการ

1. เตรียม Standard curve

(A) เตรียม Standard จาก stock 1 mg/ml (1000 ug/ml) ที่เตรียมไว้โดยนำมาเจือจางให้ได้ความเข้มข้นต่างๆ

(b) เติม 25 µl ของ Standard แต่ละความเข้มข้นๆ ละ 3 wells แล้วเติม 175 µl substrate ที่เตรียมไว้ จับเวลา 1 นาที แล้วนำไปวัดค่า OD ที่ 450 nm Kineric mode โดยวัดทุก ๆ 30 วินาที เป็นเวลา 5 นาที

2. วิเคราะห์ ตัวอย่าง

เติม 25 µl ตัวอย่าง (serum) ตัวอย่างละ 3 wells แล้วเติม 175 µl substrate ที่เตรียมไว้ จับเวลา 1 นาทีแล้วนำไปวัดค่า OD ที่ 450 nm ด้วย Kinetic mode โดยวัดทุกๆ 30 วินาทีเป็นเวลา 5 นาที หาค่า VO นำไปคำนวณหาค่า lysozyme จากสมการของ standard

* ทุก Plate ต้องมี control 3 wels โดยใช้ buffer แทนตัวอย่าง

* ถ้า OD/min ของ sample มากกว่า standard ต้องเจือจางตัวอย่างแล้วทำการวัดใหม่ ซึ่งจะขึ้นกับชนิดปลา**

* ค่า r^2 ควรใกล้เคียง 1 ให้มากที่สุด

ภาคผนวก ง

วิธีวิเคราะห์โลหะหนัก

การวิเคราะห์โลหะหนักในตัวอย่างสัตว์น้ำ (AOAC, 2000)

อุปกรณ์

ขั้นตอนการทำความสะอาดอุปกรณ์ เป็นกระบวนการเบื้องต้นที่สำคัญอย่างยิ่งต่อการวิเคราะห์ตัวอย่าง และสามารถช่วยลดปัญหาปนเปื้อนในการวิเคราะห์โดยเฉพาะอย่างยิ่งการวิเคราะห์สารที่มีปริมาณน้อย อุปกรณ์ที่ใช้ไม่สะอาดส่งผลทำให้ค่าที่วิเคราะห์ได้ผิดไปจากความจริง

การเตรียมสารเคมี และอุปกรณ์ที่ใช้ในการล้างทำความสะอาด

1. กระบอกตวงขนาด 1,000 มิลลิลิตร
2. บีกเกอร์ ขนาด 2,000 มิลลิลิตร
3. น้ำปราศจากไอออน (Deionized water)
4. น้ำกลั่น
5. กรดไนตริกเข้มข้น 65 % (Conc.HNO_3 65%)
6. น้ำยาทำความสะอาด (Detergent)
7. แปรงล้างอุปกรณ์
8. ถังพลาสติกทนกรด-ด่าง
9. ถุงมือทนกรด-ด่าง
10. โหลแก้วพร้อมฝาปิด

วิธีการเก็บตัวอย่างสัตว์น้ำ

นำตัวอย่างสัตว์น้ำขนาดต่าง ๆ แยกใส่ถุงพลาสติกหรือถุงซิบ (โดยแยกแต่ละชนิด และแต่ละขนาดอย่างน้อย 1 กิโลกรัม) พร้อมทั้งติดฉลากรายละเอียดให้เรียบร้อย (ระบุข้างถุงตัวอย่าง ชนิดสัตว์น้ำ, แหล่งที่เก็บและวัน เดือน ปีที่เก็บ) รักษาสภาพตัวอย่างสัตว์น้ำที่อุณหภูมิ 1-5 องศาเซลเซียส และเก็บรักษาตัวอย่างด้วยการแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส

การย่อยตัวอย่างสัตว์น้ำ

อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการย่อยตัวอย่างสัตว์น้ำ

1. อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water bath)
2. เตาย่อย (Digestion block)
3. เครื่องย่อยสารด้วยระบบคลื่นไมโครเวฟ (Microwave digestion)
4. ขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask) ขนาด 25 มิลลิลิตร
5. เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง
6. กระบอกน้ำกลั่น
7. เครื่องดูดจ่ายสารละลายอัตโนมัติ

8. ทิป (Tip) ขนาด 1, 5 และ 10 มิลลิลิตร

สารเคมีที่ใช้สำหรับการย่อยตัวอย่างสัตว์น้ำ

1. กรดไนตริกเข้มข้นชนิดบริสุทธิ์สูง (Conc. HNO_3 Suprapur)

2. ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide : H_2O_2)

3. วัสดุอ้างอิงมาตรฐาน (Certified reference material : CRM)

4. น้ำกลั่น (Distilled water)

5. น้ำปราศจากไอออน (Deionized water, DI)

6. สารละลายมาตรฐาน

ขั้นตอนการย่อยตัวอย่าง

1.) การย่อยด้วยอ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water bath)

- ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่บดละเอียดแล้วประมาณ 1.00±0.05 กรัม ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง ใส่ลงในหลอดแก้ว ขนาด 50 มิลลิลิตร พร้อมทั้งบันทึกน้ำหนักตัวอย่าง

- เติมกรดไนตริกเข้มข้นชนิดบริสุทธิ์สูง (Conc.HNO_3 Suprapur) 5 มิลลิลิตรนำหลอดแก้วที่เตรียมตัวอย่างเรียบร้อยแล้วใส่อ่างควบคุมอุณหภูมิ(water bath) โดยปรับตั้งอุณหภูมิที่ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

- เมื่อตัวอย่างย่อยสมบูรณ์แล้ว นำตัวอย่างที่ย่อยแล้วออกมาตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ถ่ายสารละลายที่ย่อยได้ลงในขวดวัดปริมาตร ขนาด 25 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนให้ได้ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ถ่ายตัวอย่างที่ปรับปริมาตรเรียบร้อยแล้วลงในขวดพลาสติกพร้อมทั้งติดฉลากรายละเอียดให้เรียบร้อย (ระบุข้างขวดตัวอย่าง ส่วนที่เก็บ, ชนิดสัตว์น้ำ, แหล่งที่เก็บ และวัน เดือน ปีที่เตรียม)

- นำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่องมือในกลุ่ม Atomic Absorption Spectrophotometer หรือเครื่องมือในกลุ่ม Atomic Emission Spectroscopy โดยเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารละลายโลหะหนักแต่ละตัว

2.) การย่อยตัวอย่างด้วยเตาย่อย (Digestion block)

- ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่บดละเอียดแล้วประมาณ 1.00±0.05 กรัม ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่งใส่ลงในหลอดแก้วสำหรับย่อยตัวอย่าง พร้อมทั้งบันทึกน้ำหนักตัวอย่าง

- เติมกรดไนตริกเข้มข้นชนิดบริสุทธิ์สูง (Conc.HNO_3 Suprapur) 5 มิลลิลิตร

- นำหลอดแก้วที่เตรียมตัวอย่างเรียบร้อยแล้วใส่ เตาย่อย (Digestion block) โดยปรับตั้งอุณหภูมิที่ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที

- เมื่อตัวอย่างย่อยสมบูรณ์แล้ว นำหลอดแก้วออกมาตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องถ่ายสารละลายที่ย่อยได้ลงในขวดวัดปริมาตร ขนาด 25 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนให้

ได้ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ถ่ายตัวอย่างที่ปรับปริมาตรเรียบร้อยแล้วลงในขวดพลาสติก พร้อมทั้งติดฉลากรายละเอียดให้เรียบร้อย (ระบุข้างขวดตัวอย่าง ส่วนที่เก็บ, ชนิดสัตว์น้ำ, แหล่งที่เก็บ และวัน เดือน ปีที่เก็บ)

- นำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่องมือในกลุ่ม Atomic Absorption Spectrophotometer หรือเครื่องมือในกลุ่ม Atomic Emission Spectroscopy โดยเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารละลายโลหะหนักแต่ละตัว

3.) การย่อยตัวอย่างด้วยเครื่องย่อยสารด้วยระบบคลื่นไมโครเวฟ (Microwave digestion)

- ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่บดละเอียดแล้วประมาณ 0.30 กรัม ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 2ตำแหน่ง ใส่ลงใน Teflon vessel พร้อมทั้งบันทึกน้ำหนักตัวอย่าง

- เติมกรดไนตริกเข้มข้นชนิดบริสุทธิ์สูง (Conc.HNO_3 Suprapur) 8 มิลลิลิตร และเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์(H_2O_2) 2 มิลลิลิตร

- นำหลอดที่เตรียมตัวอย่างเรียบร้อยแล้วใส่เครื่องย่อยสารด้วยระบบคลื่นไมโครเวฟ (Microwave digestion) โดยปรับตั้งอุณหภูมิ เมื่อตัวอย่างย่อยสมบูรณ์แล้ว นำออกมาตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ถ่ายสารละลายที่ย่อยได้ลงในขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask) ขนาด 25 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนให้ได้ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ถ่ายตัวอย่างที่ปรับปริมาตรเรียบร้อยแล้วลงในขวดพลาสติกพร้อมทั้งติดฉลากรายละเอียดให้เรียบร้อย (ระบุข้างขวดตัวอย่าง ส่วนที่เก็บ, ชนิดสัตว์น้ำ, แหล่งที่เก็บ และวัน เดือน ปีที่เก็บ)

- นำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่องมือในกลุ่ม Atomic Absorption Spectrophotometer หรือเครื่องมือในกลุ่ม Atomic Emission Spectroscopy โดยเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารละลายโลหะหนักแต่ละตัว

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล นางสาวอลิสรา ขันโท

เกิดเมื่อ 4 สิงหาคม 2535

ประวัติการศึกษา พ.ศ. 2558 ปริญญาตรี วิทยาศาสตรบัณฑิตการประมง มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่

พ.ศ. 2554 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนพานพิทยาคม จังหวัดเชียงราย

อีเมล: K.Alissara@hotmail.com