การเสริมโอเมก้า-3 เพื่อเพิ่มมูลค่าปลานิลอินทรีย์ในระบบไบโอฟลอค

เมรานี อิ่นคำ

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ
มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2563

การเสริมโอเมก้า-3 เพื่อเพิ่มมูลค่าปลานิลอินทรีย์ในระบบไบโอฟลอค

เมรานี อิ่นคำ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ
สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2563

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

การเสริมโอเมก้า-3 เพื่อเพิ่มมูลค่าปลานิลอินทรีย์ในระบบไบโอฟลอค

เมรานี อิ่นคำ

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ

พิจารณาเห็นชอบโดย **อาจารย์ที่ปรึกษา**

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

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....
(รองศาสตราจารย์ ดร.นิวุฒิ หวังชัย)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....
(อาจารย์ ดร.มุจลินทร์ ผลจันทร์)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

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

สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการรับรองแล้ว .....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ญาณิน โอภาสพัฒนกิจ)
รองอธิการบดี ปฏิบัติการแทน
อธิการบดี มหาวิทยาลัยแม่โจ้
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

ชื่อเรื่อง การเสริมโอเมก้า-3 เพื่อเพิ่มมูลค่าปลานิลอินทรีย์ในระบบไบโอฟลอค
ชื่อผู้เขียน นางสาวเมรานี อิ่นคำ
ชื่อปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุดมลักษณ์ สมพงษ์

บทคัดย่อ

การศึกษาผลการเสริมโอเมก้า-3 ในการเพิ่มมูลค่าปลานิลอินทรีย์ในระบบการเลี้ยงแบบไบโอฟลอค แบ่งชุดการทดลองออกเป็น 2 การทดลองหลัก ได้แก่ การทดลองที่ 1 เป็นการทดสอบเพื่อพัฒนาสูตรอาหารที่เสริมด้วยกรดไขมันประเภทต่างๆ และศึกษาการเจริญเติบโตของปลานิลที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอคในระดับห้องปฏิบัติการ โดยใช้สูตรอาหารที่แตกต่างกัน 9 สูตร ที่มีโปรตีน 30 เปอร์เซ็นต์และไขมัน 9 เปอร์เซ็นต์ ได้แก่ อาหารชุดควบคุม (Control) , อาหารสูตรน้ำมันปลา (FO), อาหารสูตรน้ำมันปลาและน้ำมันถั่วเหลือง อัตราส่วน 1:1 (FO:SO), อาหารสูตรน้ำมันหมู (LO), อาหารสูตรน้ำมันหมูและน้ำมันถั่วเหลือง อัตราส่วน 1:1 (LO:SO), อาหารสูตรน้ำมันปลาและน้ำมันหมู อัตราส่วน 1:1 (FO:LO), อาหารสูตรผสมสาหร่าย *Schizochytrium* sp. (SC), อาหารสูตรผสมสาหร่าย *Schizochytrium* sp.และน้ำมันถั่วเหลือง อัตราส่วน 1:2 (SC: SO/1:2) และอาหารสูตรผสมสาหร่าย *Schizochytrium* sp.และน้ำมันถั่วเหลือง อัตราส่วน 2:1 (SC: SO/2:1) ทดลองเลี้ยงในปลานิลน้ำหนักเริ่มต้น 30 กรัม ในตู้กระจก อัตราการปล่อย 50 ตัวต่อตารางเมตร ให้ออกซิเจนตลอดเวลา เลี้ยงเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าปลานิลที่เลี้ยงด้วยสูตรอาหารน้ำมันปลา มีการเจริญเติบโตที่ดีที่สุด น้ำหนักเพิ่มขึ้นสูงสุด (62.7±0.18 กรัม) อัตรารอด 95-97% อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ 1.4-1.5 ในแต่ละชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) จากองค์ประกอบของกรดไขมันในอาหารและเนื้อปลาที่มีการเสริมน้ำมันทั้ง 9 สูตร เปอร์เซ็นต์กรดไขมันโดยเฉพาะกรดไขมันโอเมก้า-3 และโอเมก้า-6 พบว่าปลานิลที่เลี้ยงในอาหารสูตรน้ำมันปลา มีการสะสมกรดไขมันโอเมก้า-3และ-6 ในเนื้อปลามากที่สุด ในการทดลองชุดที่ 2 เป็นการพัฒนาคุณภาพปลานิลอินทรีย์ที่มีโอเมก้า-3 สูง โดยเลี้ยงในระบบไบโอฟลอค ในระดับ pilot scale เพาะเลี้ยงปลานิลอินทรีย์โดยใช้สูตรอาหารที่แตกต่างกัน 4 สูตร ที่มีโปรตีนไม่ต่ำกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ และไขมันไม่ต่ำกว่า 9 เปอร์เซ็นต์ ได้แก่ อาหารชุดควบคุม เลี้ยงปลานิลในระบบน้ำใส (Control), อาหารอินทรีย์ (SO), อาหารอินทรีย์ผสมกับน้ำมันปลา (FO) และอาหารอินทรีย์ผสมกับสาหร่าย *Schizochytrium* sp. (SC) ทดลองเลี้ยงในปลานิลขนาดเริ่มต้น 100 กรัม ในบ่อปูนซีเมนต์ บรรจุน้ำ 1 ลูกบาศก์เมตร

อัตราการปล่อย 50 ตัวต่อตารางเมตร ให้ออกซิเจนตลอดเวลา เลี้ยงเป็นระยะเวลา 120 วัน ให้อาหาร 3% ของน้ำหนักตัว/วัน พบว่า ปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรอินทรีย์ผสมน้ำมันปลามีการเจริญเติบโตที่ดีที่สุด (345.8±1.68 กรัม) แต่ละชุดการทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อมีค่าใกล้เคียงกัน 1.4-1.8 อัตรารอดอยู่ในช่วง 92-100% ด้านคุณภาพน้ำพบว่ามีค่าตามเกณฑ์มาตรฐานที่สัตว์น้ำสามารถอาศัยอยู่ได้ องค์ประกอบของกรดไขมันที่เสริมน้ำมัน 4 สูตร พบว่าในเนื้อปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารอินทรีย์สูตรผสมน้ำมันปลา (FO) มีปริมาณกรดไขมันโอเมก้า-3 สูงที่สุด (EPA 21.63 มิลลิกรัม/กรัมและ DHA 91.08 มิลลิกรัม/กรัม) ในขณะที่เนื้อปลาในชุดการทดลองที่เลี้ยงอาหารอินทรีย์ผสมสาหร่าย *Shizochytrium* sp. (SC) มีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวสะสมในปริมาณน้อยกว่าในชุดการทดลองอื่นหลายเท่า การเสริมน้ำมันปลาจะเพิ่มปริมาณกรดไขมันโอเมก้า-3 ได้ดีกว่าให้ร่วมกับน้ำมันชนิดอื่น ต้นทุนการผลิตที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอค มีต้นทุนทั้งหมด 1699.80 บาท/บ่อ ผลตอบแทนจากการเลี้ยงได้กำไรสุทธิ 318.95 บาท/บ่อ การศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการเสริมกรดไขมันโอเมก้า-3 ของปลานิลที่เลี้ยงเชิงอินทรีย์ในระบบไบโอฟลอคที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์ในอนาคตได้

คำสำคัญ : กรดไขมันโอเมก้า-3, ปลานิล, ระบบไบโอฟลอค

Title SUPPLEMENTATION OF OMEGA-3 TO VALUE ADDED OF ORGANIC NILE TILAPIA (*Oreochromis niloticus*) IN BIOFLOC SYSTEM

Author Miss Meranee Inkam

Degree Master of Science in Fisheries Technology and Aquatic Resources

Advisory Committee Chairperson Assistant Professor Dr. Udomluk Sompong

ABSTRACT

The effect of omega-3 supplementation to be value added of organic tilapia (*Oreochromis niloticus*) in the biofloc system was investigated. The experiments were divided into 2 parts. The first part was to develop the feed formulas supplemented with various fatty acids and the growth of Nile tilapia culture in the biofloc system at the laboratory scale was determined. Nine feed diets containing 30% protein and 9% lipid were added with different types of oil; control diet added with soybean oil (Control), feed diet added with fish oil (FO), feed diet added with fish oil and soybean oil 1:1 (FO:SO), feed diet added with lard oil (LO), feed diet added with lard oil and soybean oil 1:1 (LO:SO), feed diet added with fish oil and lard oil 1:1 (FO:LO), feed diet added with *Schizochytrium* sp. (SC), feed diet added with *Schizochytrium* sp. and soybean oil 1:2 (SC: SO/1:2) and feed diet added with *Schizochytrium* sp. and soybean oil 2:1 (SC: SO/2:1). Nile tilapia (initial weight 30 g) fingerlings were cultured in glass tanks. Stocking density was 50 individuals/m^2. A pump system was installed in each aquarium to maintain the solids in suspension using aeration blower and reared for 8 weeks and feeding rates were fixed at 5% of the initial weight. Tilapia fed with FO diet showed highest growth and weight gain (62.7±0.18 g). However, there were no differences in the survival rate (95-97%) and feed conversion ratio in every treatment (1.4-1.5) ($p>0.05$). The fatty acids profile of fish flesh fed with 9 oil supplemented diets was studied. Fatty acid composition of FO was highest in total omega-3 and omega-6. The second experiment was to

develop a premium grade organic Nile tilapia with high Omega-3 tilapia in biofloc system at the pilot scale. Four feed diets containing 25% protein and 9% lipid were added with different types of oil; feed organic diet added with soybean oil (Control), feed organic diet added with soybean oil (SO), feed organic diet added with fish oil (FO) and feed organic diet added with *Schizochytrium* sp. (SC). Nile tilapia (initial weight 100 g) juveniles were cultured in tanks. Stocking density was 50 individuals/m^2. All tanks were aerated and agitated continuously using air pump. They were raised for 120 days; the feeding rate was fixed at 3% of the initial weight. Tilapia fed with FO organic diet showed highest growth and weight gain 345.8±1.68 g and 322.0±2.95 g in SC organic diet ($p<0.05$). However, there were differences in the feed conversion ratio (1.4-1.8) and survival rate in every treatment (92-100%) ($p<0.05$). The water quality within the fish ponds was in range of the standard of aquaculture. The fatty acid profile of flesh fed with 4 oil supplemented diets was studied. Fatty acid composition of FO was highest in total omega-3 (EPA 21.63 mg/g and DHA 91.08 mg/g). Fatty acid composition of tilapia flesh fed feed added with *Shizochytrium* had less saturated fatty acid content than other treatments. However, the proportion of fish oil suitable for increasing the amount of omega-3 in the flesh was better than the other types of oil. Fish production costs raised in the biofloc system was 1699.80 baht /pond. The net profit value was 318.95 baht / pond. This study demonstrated the efficacy of omega-3 fatty acids supplementation of fish fed in biofloc system was observed and it could be commercially valuable in the future.

Keywords : Omega 3, Nile tilapia, Biofloc system

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุดมลักษณ์ สมพงษ์ ประธานกรรมการที่ปรึกษา ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิวุฒิ หวังชัย และอาจารย์ ดร.มุจลินทร์ ผลจันทร์ กรรมการที่ปรึกษา ผู้ให้ความเมตตากรุณา ที่ให้คำแนะนำในการดำเนินการ วิจัย แก้ไขปัญหาและอุปสรรคต่าง ๆ รวมทั้งเป็นผู้ถ่ายทอดองค์ความรู้ แนวทางในการปฏิบัติการ การดำเนินการวิจัย สนับสนุนด้านงบประมาณ เครื่องมืออุปกรณ์สำหรับการทำวิจัย และการตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ Assistant Professor Dr. Hien Van Doan อาจารย์ภาควิชาสัตวศาสตร์และสัตว์น้ำ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ประธานคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์และแก้ไขวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้และบริษัท คิงฟิช กรุ๊ป จำกัด ที่อนุเคราะห์ให้ใช้สถานที่ในการวิจัยและอุปกรณ์ในการวิจัย และขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ถ่ายทอดองค์ความรู้ เพื่อใช้ในการวิจัยครั้งนี้ รวมทั้งบุคลากรทุกท่านในคณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำที่เป็นกำลังใจและช่วยเหลือในทุก ๆ ด้าน

ขอขอบพระคุณ สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตรที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยในการพัฒนาการวิจัยการเกษตรเพื่อการยกระดับการผลิตปลานิลจากระบบไบโอฟลอคเข้าสู่ผลิตภัณฑ์อินทรีย์คุณภาพสูง ประจำปี 2560 และขอขอบพระคุณโครงการทุนก้นกุฏิ ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ได้สนับสนุนทุนการศึกษาในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ คุณพ่อผล คุณแม่ยอมพันธ์ อิ่นคำ และสมาชิกในครอบครัวในการอบรมเลี้ยงดู ให้กำลังใจ ให้ความช่วยเหลือและสนับสนุนค่าใช้จ่ายในการศึกษาเล่าเรียนมาตลอด รวมทั้งขอขอบพระคุณ นางสาวมณิสร ปัญญาดาและนางสาวภัคธีมา ยาวิชัย ในด้านการช่วยเหลือให้การดำเนินการวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เมรานี อิ่นคำ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ช

สารบัญ ..... ซ

สารบัญตาราง ..... ฎ

สารบัญภาพ ..... ฒ

บทที่ 1 บทนำ 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

บทที่ 2 การตรวจเอกสาร 4

ชีววิทยาทั่วไปของปลานิล 4

รูปร่างและลักษณะทั่วไป 5

คุณสมบัติและนิสัยของปลานิล 5

การผสมพันธุ์และวางไข่ของปลานิล 5

คุณสมบัติน้ำที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงปลานิล 6

เทคโนโลยีไบโอฟลอค 10

การบำบัดไนโตรเจนด้วยเทคโนโลยีไบโอฟลอค 13

กรดไขมันโอเมก้า 3 (Omega-3) 14

คุณประโยชน์ของกรดไขมันโอเมก้า-3 16

แหล่งของกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 ที่นำมาใช้เป็นอาหารสัตว์ 18

อาหารอินทรีย์ 21

การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอินทรีย์ (Organic aquaculture production) 23
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 25
กรอบแนวคิดและสมมติฐานของการวิจัย 29
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย 30
วัสดุและอุปกรณ์ 30
สารเคมี 32
วิธีการดำเนินการ 33
การทดลองที่ 1 การทดลองย่อยเพื่อพัฒนาสูตรอาหารปกติ อาหารอินทรีย์และศึกษาการเจริญเติบโตของปลานิลที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอคในระดับห้องปฏิบัติการ โดยทำการวิจัยที่ คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ซึ่งมีรายละเอียดขั้นตอนดังนี้ 33
การทดลองที่ 2 เพื่อพัฒนาการเพาะเลี้ยงปลานิลเสริมโอเมก้า–3 เข้าสู่เชิงอินทรีย์ในระดับอุตสาหกรรมขนาดย่อม ซึ่งเป็นการทดลองโดยทำการวิจัยที่ คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ซึ่งมีรายละเอียดขั้นตอนดังนี้ 35
ระยะเวลาในการวิจัยและสถานที่ดำเนินงาน 37
บทที่ 4 ผลการศึกษา 38
การทดลองที่ 1 38
1.1 ผลการศึกษาระบบการเลี้ยงปลานิลด้วยไบโอฟลอคที่เสริมคุณค่าโอเมก้า-3 โดยการเสริมอาหารที่เป็นแหล่งของกรดไขมันโอเมก้า-3 39
1.2 ผลการศึกษาการเปรียบเทียบปัจจัยด้านประสิทธิภาพและการเจริญเติบโต 39
1.3 ผลการศึกษาปัจจัยด้านคุณสมบัติต่าง ๆ ของน้ำ 43
การทดลองที่ 2 51
2.1. ผลการศึกษาการเปรียบเทียบปัจจัยด้านประสิทธิภาพและการเจริญเติบโต 51
2.2 ผลของคุณภาพน้ำในบ่อปลานิลที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอค 60
2.3 ปัจจัยด้านองค์ประกอบทางโภชนาการของสารอาหารรวมทั้งปริมาณกรดไขมัน 91

2.4 ปัจจัยด้านความหลากหลายและองค์ประกอบของไบโอฟลอค 95
2.5 ต้นทุนและผลตอบแทน 109
บทที่ 5 วิจารณ์และสรุปผลการทดลอง 111
การทดลองที่ 1 ศึกษาระบบการเลี้ยงปลานิลด้วยไบโอฟลอคที่เสริมคุณค่าโอเมก้า-3 โดยการเสริมอาหารที่เป็นแหล่งของกรดไขมันโอเมก้า-3 111
การทดลองที่ 2 การเปรียบเทียบปัจจัยด้านประสิทธิภาพและการเจริญเติบโต 112
การทดลองที่ 3 ปัจจัยด้านคุณสมบัติต่าง ๆ ของน้ำ 113
การทดลองที่ 4 ปัจจัยด้านองค์ประกอบทางโภชนาการของสารอาหารรวมทั้งปริมาณกรดไขมัน 117
การทดลองที่ 5 ปัจจัยด้านความหลากหลายและองค์ประกอบของแพลงก์ตอน ในระบบไบโอฟลอค 118
สรุปผลการทดลอง 120
ข้อเสนอแนะ 120
บรรณานุกรม 122
ประวัติผู้วิจัย 133

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ประโยชน์ด้านสุขภาพจากการบริโภคอาหารที่มีกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 17

ตารางที่ 2 องค์ประกอบของกรดไขมันที่พบในน้ำมันปลา 19

ตารางที่ 3 ส่วนประกอบของการเตรียมหัวเชื้อไบโอฟลอค 39

ตารางที่ 4 น้ำหนักเริ่มต้น น้ำหนักสุดท้าย อัตราการเจริญเติบโต อัตารอดและอัตราแลกเนื้อ ที่เลี้ยงโดยระบบไบโอฟลอค ในช่วงแรกของการทดลอง ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 2 เดือน 40

ตารางที่ 5 น้ำหนักเริ่มต้น น้ำหนักสุดท้าย อัตราการเจริญเติบโต อัตารอดและอัตราแลกเนื้อของปลานิลที่เลี้ยงโดยระบบไบโอฟลอค ในช่วงที่สองของการทดลอง ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 2 เดือน..... 42

ตารางที่ 6 คุณภาพน้ำบางประการในระบบไบโอฟลอคในการทดลองชุดแรกและชุดที่สอง ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 60 วัน 44

ตารางที่ 7 ค่ามาตรฐานของคุณภาพน้ำที่มีความสำคัญในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ 45

ตารางที่ 8 คุณค่าทางโภชนาการของอาหารที่ใช้ทดลอง ในการทดลองชุดแรก 46

ตารางที่ 9 คุณค่าทางโภชนาการของอาหารที่ใช้ทดลอง ในการทดลองชุดที่สอง 47

ตารางที่ 10 คุณค่าทางโภชนาการของเนื้อปลานิลที่เสริมกรดไขมันโอเมก้า-3 ที่เลี้ยงในระบบ ไบโอฟลอค ในการทดลองชุดแรก..... 48

ตารางที่ 11 คุณค่าทางโภชนาการของเนื้อปลานิลที่เสริมกรดไขมันโอเมก้า-3 ที่เลี้ยงในระบบ ไบโอฟลอค ในการทดลองชุดที่สอง 49

ตารางที่ 12 องค์ประกอบของกรดไขมันในอาหารและเนื้อปลาที่มีการเสริมกรดไขมันโอเมก้า-3 ที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอค ในชุดการทดลองแรก..... 52

ตารางที่ 13 องค์ประกอบของกรดไขมันในอาหารและเนื้อปลาที่มีการเสริมกรดไขมันโอเมก้า-3 ที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอค ในชุดการทดลองที่สอง 53

ตารางที่ 14 ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารอินทรีย์ทั้ง 4 สูตรในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน 54

ตารางที่ 15 อุณหภูมิอากาศ (°C) ในบ่อที่เลี้ยงปลานิลเสริมกรดไขมันในอาหารอินทรีย์ทั้ง 4 สูตร ในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน 61

ตารางที่ 16 อุณหภูมิน้ำ (°C) ในบ่อที่เลี้ยงปลานิลเสริมกรดไขมันในอาหารอินทรีย์ทั้ง 4 สูตร ในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน 63

ตารางที่ 17 ปริมาณของแขวนลอยทั้งหมด (TSS) ในบ่อที่เลี้ยงปลานิลเสริมกรดไขมันในอาหารอินทรีย์ทั้ง 4 สูตร ในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน 65

ตารางที่ 18 ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมดในบ่อที่เลี้ยงปลานิลเสริมกรดไขมันในอาหารอินทรีย์ทั้ง 4 สูตร ในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120วัน 67

ตารางที่ 19 ปริมาณสารที่สามารถตกตะกอนทั้งหมดในบ่อที่เลี้ยงปลานิลเสริมกรดไขมันในอาหารอินทรีย์ทั้ง 4 สูตร ในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน 69

ตารางที่ 20 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในบ่อที่เลี้ยงปลานิลเสริมกรดไขมันในอาหารอินทรีย์ทั้ง 4 สูตร ในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน 71

ตารางที่ 21 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในบ่อที่เลี้ยงปลานิลเสริมกรดไขมันในอาหารอินทรีย์ทั้ง 4 สูตร ในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน 73

ตารางที่ 22 แอมโมเนีย ไนโตรเจนในบ่อที่เลี้ยงปลานิลเสริมกรดไขมันในอาหารอินทรีย์ทั้ง 4 สูตร ในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน 75

ตารางที่ 23 ไนไตรท์ ไนโตรเจนในบ่อที่เลี้ยงปลานิลเสริมกรดไขมันในอาหารอินทรีย์ทั้ง 4 สูตร ในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน 77

ตารางที่ 24 ไนเตรท ไนโตรเจนในบ่อที่เลี้ยงปลานิลเสริมกรดไขมันในอาหารอินทรีย์ทั้ง 4 สูตร ในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน 79

ตารางที่ 25 ฟอสเฟต ฟอสฟอรัสในบ่อที่เลี้ยงปลานิลเสริมกรดไขมันในอาหารอินทรีย์ทั้ง 4 สูตร ในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน 81

ตารางที่ 26 ฟอสฟอรัสรวมในบ่อที่เลี้ยงปลานิลเสริมกรดไขมันในอาหารอินทรีย์ทั้ง 4 สูตร ในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน 83

ตารางที่ 27 Biochemical oxygen demand ในบ่อที่เลี้ยงปลานิลเสริมกรดไขมันในอาหารอินทรีย์ทั้ง 4 สูตร ในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน 85

ตารางที่ 28 Chemical oxygen demand ในบ่อที่เลี้ยงปลานิลเสริมกรดไขมันในอาหารอินทรีย์ทั้ง 4 สูตร ในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน 87

ตารางที่ 29 คลอโรฟิลล์-เอในบ่อที่เลี้ยงปลานิลเสริมกรดไขมันในอาหารอินทรีย์ทั้ง 4 สูตร ในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน 89

ตารางที่ 30 คุณภาพน้ำในบ่อที่เลี้ยงปลานิลเสริมกรดไขมันในอาหารอินทรีย์ทั้ง 4 สูตร ในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน 90

ตารางที่ 31 คุณค่าทางโภชนาการของอาหารอินทรีย์ที่เสริมกรดไขมันในอาหารอินทรีย์ทั้ง 4 สูตร เลี้ยงในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน (Mean ± SE) 92

ตารางที่ 32 คุณค่าทางโภชนาการของเนื้อปลานิลที่เสริมกรดไขมันในอาหารอินทรีย์ทั้ง 4 สูตรเลี้ยงในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน (Mean ± SE) 93

ตารางที่ 33 องค์ประกอบของกรดไขมันในอาหารและเนื้อปลาที่มีการเสริมกรดไขมันโอเมก้า-3 โดยเลี้ยงในระบบไบโอฟลอค 94

ตารางที่ 34 ชนิดและปริมาณแพลงก์ตอนพืชที่พบในชุดควบคุม (Control) ที่เลี้ยงปลานิลในระบบน้ำใส ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน 96

ตารางที่ 35 ชนิดและปริมาณของแพลงก์ตอนสัตว์ที่พบในชุดควบคุม (Control) ที่เลี้ยงปลานิลในระบบน้ำใส ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน 97

ตารางที่ 36 ชนิดและปริมาณของแพลงก์ตอนพืชที่พบในชุดอาหารสูตรอินทรีย์ (SO) ที่เลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน 98

ตารางที่ 37 ชนิดและปริมาณของแพลงก์ตอนสัตว์ที่พบในชุดอาหารอินทรีย์ (SO) ที่เลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอคเป็นระยะเวลา 120 วัน 99

ตารางที่ 38 ชนิดและปริมาณของแพลงก์ตอนพืชที่พบในชุดอาหารอินทรีย์ผสมน้ำมันปลา (FO) ที่เลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน 100

ตารางที่ 39 ชนิดและปริมาณของแพลงก์ตอนพืชที่พบในชุดอาหารอินทรีย์ผสมสาหร่าย Schizochytrium sp. (SC) ที่เลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเลี้ยง 120 วัน 102

ตารางที่ 40 ชนิดและปริมาณของแพลงก์ตอนสัตว์ที่พบในชุดอาหารอินทรีย์ผสมสาหร่าย Schizochytrium sp. (SC) ที่เลี้ยงปลานิลใน ระบบไบโอฟลอค ระยะเวลา 120 วัน 103

ตารางที่ 41 ชนิดและปริมาณแพลงก์ตอนพืชทั้งหมดที่พบในระบบไบโอฟลอคที่เลี้ยงปลานิลที่เสริมด้วยกรดไขมันโอเมก้า 3 ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน 104

ตารางที่ 42 ชนิดและปริมาณแพลงก์ตอนสัตว์ที่พบทั้งหมดในระบบไบโอฟลอคที่เลี้ยงด้วยปลานิลที่เสริมด้วยกรดไขมันโอเมก้า-3 107

ตารางที่ 43 การประมาณค่าต้นทุนและผลตอบแทนจากการเลี้ยงปลานิลอินทรีย์ด้วยระบบ ไบโอฟลอค 110

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 ลักษณะของปลานิล (Oreochromis niloticus) 4

ภาพที่ 2 ตะกอนจุลินทรีย์ (Biofloc) 10

ภาพที่ 3 แสดงกระบวนการไนตริฟิเคชั่นและกระบวนการดีไนตริฟิเคชั่น 12

ภาพที่ 4 กระบวนการการสร้าง Biofloc ในบ่อเลี้ยงปลา 13

ภาพที่ 5 กลไกการสังเคราะห์กรดไขมันในตระกูลโอเมก้า-6 และโอเมก้า-3 14

ภาพที่ 6 Schizochytrium sp. 20

ภาพที่ 7 การเจริญเติบโตของปลานิลที่เลี้ยงโดยระบบไบโอฟลอค ในช่วงแรกของการทดลอง โดยมีสูตรอาหารที่ต่างกัน ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 60 วัน 41

ภาพที่ 8 การเจริญเติบโตของปลานิลที่เลี้ยงโดยระบบไบโอฟลอค ในช่วงที่สองของการทดลอง โดยมีสูตรอาหารที่ต่างกัน ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 60 วัน 43

ภาพที่ 9 น้ำหนักเฉลี่ยสุดท้ายของปลานิลหลังจากที่เลี้ยงด้วยอาหารอินทรีย์เสริมกรดไขมัน ทั้ง 4 สูตรในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน 55

ภาพที่ 10 น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของปลานิลหลังจากที่เลี้ยงด้วยอาหารอินทรีย์เสริมกรดไขมัน ทั้ง 4 สูตรในระบบ ไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน 56

ภาพที่ 11 อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของปลานิลหลังจากที่เลี้ยงด้วยอาหารอินทรีย์เสริม กรดไขมัน ทั้ง 4 สูตรในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน 57

ภาพที่ 12 อัตราการเจริญเติบโตของปลานิลหลังจากที่เลี้ยงด้วยอาหารอินทรีย์เสริมกรดไขมัน ทั้ง 4 สูตรในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน 58

ภาพที่ 13 อัตรารอดปลานิลหลังจากที่เลี้ยงด้วยอาหารอินทรีย์เสริมกรดไขมันทั้ง 4 สูตร ในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน 59

ภาพที่ 14 อุณหภูมิอากาศในบ่อที่เลี้ยงปลานิลเสริมกรดไขมันในอาหารอินทรีย์ทั้ง 4 สูตร ในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน 60

ภาพที่ 15 อุณหภูมิน้ำในบ่อที่เลี้ยงปลานิลเสริมกรดไขมันในอาหารอินทรีย์ทั้ง 4 สูตร ในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน 62

ภาพที่ 16 ปริมาณของแขวนลอยทั้งหมด ในบ่อที่เลี้ยงปลานิลเสริมกรดไขมันในอาหารอินทรีย์ ทั้ง 4 สูตร ในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน 64

ภาพที่ 17 ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมดในบ่อที่เลี้ยงปลานิลเสริมกรดไขมันในอาหารอินทรีย์ ทั้ง 4 สูตร ในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน..... 66

ภาพที่ 18 ปริมาณสารที่สามารถตกตะกอนทั้งหมด ในบ่อที่เลี้ยงปลานิลเสริมกรดไขมันในอาหารอินทรีย์ทั้ง 4 สูตร ในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน 68

ภาพที่ 19 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในบ่อที่เลี้ยงปลานิลเสริมกรดไขมันในอาหารอินทรีย์ ทั้ง 4 สูตร ในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน 70

ภาพที่ 20 ค่าความเป็นกรด-ด่างในบ่อที่เลี้ยงปลานิลเสริมกรดไขมันในอาหารอินทรีย์ทั้ง 4 สูตร ในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน 72

ภาพที่ 21 แอมโมเนีย ไนโตรเจนในบ่อที่เลี้ยงปลานิลเสริมกรดไขมันในอาหารอินทรีย์ทั้ง 4 สูตรในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน 74

ภาพที่ 22 ไนไตรท์ ไนโตรเจนในบ่อที่เลี้ยงปลานิลเสริมกรดไขมันในอาหารอินทรีย์ทั้ง 4 สูตรในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน 76

ภาพที่ 23 ไนเตรท ไนโตรเจนในบ่อที่เลี้ยงปลานิลเสริมกรดไขมันในอาหารอินทรีย์ทั้ง 4 สูตร ในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน 78

ภาพที่ 24 ฟอสเฟต ฟอสฟอรัสในบ่อที่เลี้ยงปลานิลเสริมกรดไขมันในอาหารอินทรีย์ทั้ง 4 สูตรในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน 80

ภาพที่ 25 ฟอสฟอรัสรวมในบ่อที่เลี้ยงปลานิลเสริมกรดไขมันในอาหารอินทรีย์ทั้ง 4 สูตร ในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน 82

ภาพที่ 26 Biochemical oxygen demand ในบ่อที่เลี้ยงปลานิลเสริมกรดไขมันในอาหารอินทรีย์ทั้ง 4 สูตรในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน 84

ภาพที่ 27 Chemical oxygen demand ในบ่อที่เลี้ยงปลานิลเสริมกรดไขมันในอาหารอินทรีย์ทั้ง 4 สูตรในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน 86

ภาพที่ 28 คลอโรฟิลล์-เอในบ่อที่เลี้ยงปลานิลเสริมกรดไขมันในอาหารอินทรีย์ทั้ง 4 สูตร ในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน 88

ภาพที่ 29 ชนิดของแพลงก์ตอนพืชในระบบไบโอฟลอคที่เลี้ยงด้วยปลานิลที่เสริมด้วยกรดไขมัน โอเมก้า-3 ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน 105

ภาพที่ 30 แพลงก์ตอนพืชชนิดที่เด่นในระบบไบโอฟลอค 106

ภาพที่ 31 ชนิดของแพลงก์ตอนสัตว์ในระบบไบโอฟลอคที่เลี้ยงด้วยปลานิลที่เสริมด้วยกรดไขมันโอเมก้า-3 เป็นระยะเวลา 120 วัน 107

ภาพที่ 32 แพลงก์ตอนสัตว์ชนิดที่เด่นในระบบไบโอฟลอค 108

บทที่ 1
บทนำ

ในปัจจุบันกระแสนิยมการสนใจสุขภาพมีมากขึ้นและมีความต้องการอาหารที่มีความปลอดภัยสูงขึ้น เนื่องจากผู้บริโภคส่วนใหญ่หันมาให้ความสำคัญกับโภชนาการและสุขภาพกันมากขึ้น ทำให้เกิดการตื่นตัวในการพัฒนา และผลิตอาหารเสริมสุขภาพในรูปแบบต่างๆ มากมาย ซึ่งจะสอดคล้องกับรูปแบบอาหารในยุคปัจจุบันนี้ที่เน้นการผลิตอาหารเพื่อสุขภาพ (Functional food) ซึ่งได้รับความสนใจอย่างแพร่หลาย (สุริยา และคณะ, 2559) โดยเฉพาะสินค้าประมง เช่น ปลาแซลมอน ทูน่า ปลานิล ทั้งที่ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีการทำการเพาะเลี้ยงและส่งออกสินค้าประมงในปี 2559 การส่งออกสินค้าประมงของไทย มีปริมาณ 1,660,432 ตัน มูลค่า 220,997 ล้านบาท (กลุ่มวิเคราะห์การค้าสินค้าประมงระหว่างประเทศ, 2559) ถึงแม้ว่าจะมีการส่งออกสินค้าประมงอย่างมาก แต่ยังมีการนำเข้าสินค้าประมง เช่น ปลาน้ำจืด จากต่างประเทศจำนวนมาก ในปี 2559 ประเทศไทยนำเข้าปลานิลและผลิตภัณฑ์ 318.8 ตัน มูลค่า 37.7 ล้านบาท (เกวลิน, 2559) ซึ่งข้อมูลก็แสดงให้เห็นว่า ประเทศไทยยังมีความต้องการบริโภคสัตว์น้ำจืดอีกจำนวนมากและยังคงเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้นด้วย ในปัจจุบันการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ส่วนใหญ่จะมีการเลี้ยงอย่างหนาแน่นเพื่อให้ได้ผลผลิตที่มากขึ้น แต่ก็ยังประสบปัญหาเรื่องคุณภาพน้ำหากไม่ได้รับการจัดการที่ดีพอ การแก้ปัญหาการจัดการด้านคุณภาพน้ำจึงได้มีแนวคิดในการนำของเสียที่เกิดจากสัตว์น้ำ มาปรับใช้ภายในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ ซึ่งก็คือการนำแนวคิด การใช้เทคโนโลยีไบโอฟลอค (Biofloc technology) เทคโนโลยีนี้คือ การใช้ตะกอนจุลินทรีย์ (Biofloc) มาช่วยในการย่อยสลายซากของเสีย (แอมโมเนีย) เปลี่ยนของเสียให้กลายเป็นของดีเพื่อนำไปใช้ประโยชน์หมุนเวียนภายในบ่อ (Azim and Little, 2008) จะส่งผลให้ผู้เลี้ยงมีผลผลิตที่มีความคุ้มทุนต่อการลงทุนระยะยาว

การใช้เทคโนโลยีไบโอฟลอค สามารถประยุกต์ใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอินทรีย์ซึ่งปัจจุบันมีทิศทางของการเพิ่มมูลค่าพัฒนาการเลี้ยงสัตว์น้ำให้เป็นอาหารเพื่อสุขภาพของมนุษย์ในการบริโภคและมีความปลอดภัยได้มาตรฐานสากล เช่น การเสริมกรดไขมันที่มีความจำเป็นต่อร่างกายลงในอาหารเหล่านั้น นอกจากจะเป็นประโยชน์ต่อตัวสัตว์น้ำแล้ว สารดังกล่าวยังสะสมอยู่ในตัวของสัตว์น้ำเกิดคุณประโยชน์ต่อสุขภาพของผู้บริโภคตามมา นั่นคือการเสริมกรดไขมันโอเมก้า-3 เข้าไปในอาหารในระบบไบโอฟลอคเพื่อให้เป็นแหล่งอาหารเสริมเพิ่มคุณค่ากับปลานิล กมลกาญจน์ (2551) กล่าวว่า กรดไขมันโอเมก้า-3 จัดอยู่ในประเภทไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนหมายถึงกรดไขมันที่มีธาตุคาร์บอน (Double bond) อยู่หลายตำแหน่ง และ กรดไขมันโอเมก้า-3 เป็นกรดไขมันที่มีตำแหน่งพันธะคู่อันแรกอยู่ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 3 กรดไขมันในกลุ่มโอเมก้า-3 นี้ พบได้มากในปลาทะเลในเขตน้ำเย็น

สำหรับในประเทศไทยได้มีการวิจัยพบว่า ในปลาน้ำจืดมีปริมาณกรดไขมันโอเมก้า-3 อยู่ระหว่าง 62 - 1,052 มิลลิกรัมต่อน้ำหนัก 100 กรัม ปลายสวายที่มีสูงถึง 2,111 มิลลิกรัมต่อน้ำหนัก 100 กรัม เนื่องจากเป็นปลาที่มีไขมันสูงมาก มีการศึกษาวิจัยอย่างกว้างขวางเกี่ยวกับประโยชน์ของกรดไขมันโอเมก้า-3 ซึ่งสรุปได้ว่า กรดไขมันโอเมก้า-3 เป็นกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกาย สามารถช่วยลดความเสี่ยงของการเกิดโรคหลอดเลือดอุดตัน ป้องกันโรคความจำเสื่อมในผู้สูงอายุและช่วยกระตุ้นการพัฒนาสมองและอารมณ์ในวัยเด็ก จากการวิจัยของกรมประมง พบว่าในปลานิลปริมาณ 100 กรัม จะมีโอเมก้า-3 หรืออีพีเอและดีเอชเอ จำนวน 42.86 มิลลิกรัม (อดิศร, 2560)

ดังนั้นผู้วิจัยได้เสนอแผนงานวิจัยเพื่อพัฒนาการเพิ่มมูลค่าปลานิลอินทรีย์ด้วยการเพิ่มกรดไขมันโอเมก้า-3 ในการเพาะเลี้ยงด้วยระบบเทคโนโลยีไบโอฟลอค เพื่อให้ได้ปลานิลอินทรีย์ที่มีกรดไขมันโอเมก้า-3 ที่เหมาะสำหรับเป็นอาหารสุขภาพและสามารถตอบโจทย์ชุมชน ภาครัฐและเอกชน รวมทั้งการพัฒนาผลิตภัณฑ์และการใช้ประโยชน์ที่ยั่งยืนต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาคุณภาพปลานิลที่มีกรดไขมันโอเมก้า–3 สูง ให้มีคุณค่าทางอาหารเพิ่มมากยิ่งขึ้นโดยระบบไบโอฟลอค
2. เพื่อพัฒนาสูตรอาหารปลานิลเชิงอินทรีย์ที่เหมาะกับการเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค
3. เพื่อพัฒนาระบบการเลี้ยงและรับรองมาตรฐานการเลี้ยงที่ดีมุ่งสู่อินทรีย์
4. เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพเหมาะสำหรับเป็นอาหารสุขภาพ เพื่อมุ่งตอบโจทย์ชุมชนและการใช้ประโยชน์ที่ยั่งยืนต่อไป

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้รูปแบบของเทคโนโลยีที่จะพัฒนาปลานิลอินทรีย์ที่มีโอเมก้า–3 สูง เพื่อเพิ่มคุณค่าทางอาหารมากยิ่งขึ้น
2. องค์ความรู้จากงานวิจัยสามารถได้รูปแบบสูตรอาหารที่เหมาะสำหรับการเลี้ยงปลานิลอินทรีย์ในระบบที่ยั่งยืน
3. ได้รูปแบบระบบการเลี้ยงและรับรองมาตรฐานการเลี้ยงที่ดีมุ่งสู่อินทรีย์ ที่สามารถใช้ในการเพิ่มมูลค่าสู่ระบบการเพาะเลี้ยงเชิงพาณิชย์
4. สามารถสร้างผลิตภัณฑ์ปลานิลอินทรีย์ที่มีคุณภาพสูงเหมาะสำหรับเป็นอาหารสุขภาพสำหรับคนทุกวัย

5. เทคโนโลยีการเพิ่มมูลค่าปลานิลอินทรีย์ที่มีโอเมก้า-3 สูง ในระบบไบโอฟลอคที่พัฒนาได้ ทำให้การผลิตปลานิลอินทรีย์เกิดขึ้นได้อย่างยั่งยืน สามารถนำไปใช้เป็นต้นแบบได้ ทำให้เกิดรายได้และการสร้างงานในชุมชน

บทที่ 2
การตรวจเอกสาร

ชีววิทยาทั่วไปของปลานิล

ภาพที่ 1 ลักษณะของปลานิล (*Oreochromis niloticus*)

ปลานิล *Oreochromis niloticus* จัดอยู่ในวงศ์ Cichlidae ซึ่งมีหลายสกุล ทั้งนี้ปลานิลจัดอยู่ในสกุล *Oreochromis* spp. และมีชื่อสามัญคือ Nile Tilapia (Nelson, 1994) ลำดับอนุกรมวิธานของปลานิลถูกจัดอันดับทางอนุกรมวิธานไว้ดังนี้

Knindom Animalia
Phylum Vertebrata
Subphylum Vertebrara
Superclass Gnathosmata
Class Actinopterygii
Order Perciformes
Suborder Labbroidei
Family Cichlidae
Genus *Oreochromis*
Species *Oreochromis niloticus*

รูปร่างและลักษณะทั่วไป

ปลานิลมีรูปร่างคล้ายปลาหมอเทศ คือมีครีบหลัง ครีบก้นและครีบหางอย่างละ 1 ครีบ โดยครีบหลังและครีบก้นนี้ประกอบด้วยก้านครีบแข็งและก้านครีบอ่อนจำนวนมาก ส่วนครีบหางมีแต่ก้านครีบอ่อน มีครีบอกและครีบท้องอย่างละ 2 ครีบ มีข้อแตกต่างจากปลาหมอเทศคือ ปลานิลมีริมฝีปากบนและริมฝีปากล่างเสมอกัน ที่แก้มมีเกล็ด 4 แถว มีลายพาดขวางตามลำตัวจำนวน 9-10 แถบ มีเกล็ดตามแนวเส้นข้างลำตัว 33 เกล็ด ลำตัวมีสีเขียวปนน้ำตาลตรงกลางเกล็ดมีสีเข้ม ที่กระดูกแก้มมีจุดสีเข้มอยู่หนึ่งจุด บริเวณก้านครีบอ่อนของครีบหลัง ครีบก้น และครีบหาง มีจุดสีขาวและสีดำตัดขวางคล้ายลายข้าวตอกกระจายทั่วไป (เพ็ญพรรณ และคณะ, 2551)

คุณสมบัติและนิสัยของปลานิล

ปลานิลเป็นปลาที่กินทั้งเนื้อและพืชเป็นอาหาร แต่จะชอบกินสาหร่าย แพลงก์ตอนที่อาศัยอยู่ในน้ำ ตัวอ่อนของแมลง อินทรียวัตถุที่สลายตัวแล้วบริเวณก้นบ่อ เมื่อมีขนาดโตจะกินพืชพวกสาหร่ายจอก แหน และส่วนอ่อนของใบพืช อาหารตามธรรมชาติ ได้แก่ ไรน้ำ ตะไคร่น้ำ และตัวอ่อนของแมลง ส่วนอาหารเสริม ได้แก่ รำ ปลายข้าว กากถั่วลิสง และปลาป่น ส่วนการเลี้ยงในบ่อ ส่วนมากจะใช้อาหารจำพวกรา เศษอาหาร พืชจำพวกแหน และมูลสัตว์ ปลานิลมีนิสัยชอบอยู่รวมกันเป็นฝูง (ยกเว้นเวลาสืบพันธุ์) มีความอดทนและปรับตัวเข้ากับ สภาพแวดล้อมได้ดีจาการศึกษาพบว่าปลานิลทนต่อความเค็มได้ถึง 20 ส่วนในพันส่วน ทนต่อค่าความ เป็น กรด -ด่าง (pH) ได้ดีในช่วง 6.5-8.3 และสามารถทนต่ออุณหภูมิได้ถึง 40 องศาเซลเซียส แต่ในอุณหภูมิ ที่ต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส พบว่าปลานิลปรับตัวและเจริญเติบโตได้ไม่ดีนัก ทั้งนี้เป็น เพราะถิ่นกำเนิดเดิม ของปลาชนิดนี้อยู่ในเขตร้อน (แก้วตา, 2556)

การผสมพันธุ์และวางไข่ของปลานิล

ปลานิลสามารถผสมพันธุ์ได้ตลอดปีโดยใช้เวลา 2-3 เดือน/ครั้ง แต่ถ้าอาหารเพียงพอและเหมาะสม ในระยะเวลา 1 ปี จะผสมพันธุ์ได้ 5-6 ครั้ง ขนาดอายุและช่วง การสืบพันธุ์ของปลาแต่ละตัวจะแตกต่างกันไปตามสภาพแวดล้อม และสภาพทางสรีรวิทยาของปลา การวิวัฒนาการของรังไข่และถุงน้ำเชื้อของปลานิล พบว่าปลานิลจะมีไข่และน้ำเชื้อเมื่อมีความยาว 6.5 เซนติเมตรโดยปกติปลานิลที่ยังโตไม่ได้ขนาดผสมพันธุ์หรือสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมเพื่อการวางไข่ ปลาจะรวมกันอยู่เป็นฝูง แต่ภายหลังที่ปลามีขนาดที่จะสืบพันธุ์ได้ปลาตัวผู้จะแยกออกจากฝูงแล้ว เริ่มสร้างรังโดยเลือกเอาบริเวณเชิงลาดหรือก้นบ่อที่มีระดับน้ำลึกระหว่าง 0.5-1 เมตร วิธีการสร้างรัง นั้นปลาจะปักหัวลง โดยที่ตัวของมันอยู่ในระดับตั้งฉากกับพื้นดิน แล้วใช้ปากพร้อมกับความเคลื่อนไหว ของลำตัวที่ เขี่ยดินตะกอนออก จากนั้นจะอมดินตะกอนออก จากนั้นจะอมดินตะกอนงับเศษสิ่งของต่าง ๆ ออกไปทิ้ง

นอกรังทำเช่นนี้จนกว่าจะได้รังที่มีลักษณะค่อนข้างกลม เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 20-35 เซนติเมตร ลึกประมาณ 3-6 เซนติเมตร ความกว้างและลึกของรังไข่ขึ้นอยู่กับขนาดของพ่อปลาหลักจาก สร้างรังเสร็จเรียบร้อยแล้ว มันพยายามไล่ปลาตัวอื่น ๆ ให้ออกไปนอกรังไข่ประมาณ 2-3 เมตร ขณะเดียวกันพ่อปลาที่สร้างรังจะแผ่ครีบหลังและอ้าปากกว้าง ในขณะที่มีปลาตัวเมียว่ายน้ำเข้ามาใกล้ ๆ รัง และเมื่อเลือกตัวเมียได้ถูกต้องใจแล้วก็จะแสดงอาการจับคู่โดยว่ายน้ำเคล้าคู่กันไปโดยใช้หากและกัดกันเบา ๆ การเคล้าเคลียดังกล่าวใช้เวลาไม่นานนัก ปลาตัวผู้ก็จะใช้บริเวณหน้าผากดุนที่ใต้ท้องของตัวเมีย เพื่อเป็นการกระตุ้นเร่งเร้าให้ตัวเมียวางไข่ ซึ่งตัวเมียจะวางไข่ครั้งละ 10-15 ฟอง ปริมาณไข่ที่วางรวม กันแต่ละครั้งมีประมาณ 50-600 ฟอง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของแม่ปลา เมื่อปลาวางไข่ แต่ละครั้งปลา ตัวผู้จะว่าน้ำไปเหนือไข่พร้อมกับปล่อยน้ำเชื้อลงไป ทำเช่นนี้จนกว่าการผสมพันธุ์แล้วเสร็จ โดยใช้เวลา 1-2 ชั่วโมง ปลาตัวเมียเก็บไข่ที่ได้รับการผสมแล้วอมไว้ในปากและว่ายออกจากรัง ส่วนปลาตัวผู้ก็คอย หาโอกาสเคล้าเคลียกับปลาตัวเมียอื่นต่อไป (ศักดิ์ชัย, 2536; สันต์, 2548)

คุณสมบัติน้ำที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงปลานิล

1. ความเป็นกรด-ด่าง (pH) คือ ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน ที่มีอยู่ในน้ำในบ่อเลี้ยงปลาจะมีการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่าง ในน้ำทั้งในช่วงกลางวันและกลางคืน ทั้งนี้เนื่องจากแพลงก์ตอนพืช และพืชน้ำมีการสังเคราะห์แสงในตอนกลางวัน ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างสูงขึ้นและค่อย ๆ ลดในตอนกลางคืน ทำให้มีผลต่อการเลี้ยงปลาโดยตรง คือทำให้ปลาไม่เติบโต และตายได้ ช่วงความเป็นกรด-ด่าง ที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงปลานิลอยู่ในช่วง 6.5-8.3 น้ำที่เป็นกรดสามารถแก้ได้ด้วยการใส่ปูนขาว หรือปุ๋ยที่มีสภาพเป็นด่าง เช่น ปุ๋ยไนเตรท ส่วนน้ำที่เป็นด่างจะเติมปุ๋ยกรด เช่น แอมโมเนียซัลเฟต โดยปกติน้ำที่เป็นด่างจะพบได้น้อยกว่าน้ำที่เป็นกรด (ไมตรี, 2526)

2. ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Xu et al., 1994) ปลาต้องการออกซิเจนในการหายใจ เมื่อออกซิเจนในน้ำลดลง ปลาจะโผล่มาหายใจที่ผิวน้ำ ปริมาณของออกซิเจนที่ละลายในน้ำจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ

2.1 อุณหภูมิ ออกซิเจนจะละลายในน้ำได้ดีและมากเมื่ออุณหภูมิของน้ำลดต่ำลงและถ้าอุณหภูมิของน้ำสูงขึ้น จะทำให้ออกซิเจนละลายน้ำได้น้อยลง อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเลี้ยงปลานิลควรอยู่ในช่วง 25-32 องศาเซลเซียส

2.2 ความเค็ม น้ำที่มีความเค็มต่ำออกซิเจนจะละลายได้ดี ถ้าน้ำมีความเค็มสูงออกซิเจนจะละลายน้ำได้น้อยลง

2.3 การสังเคราะห์แสง ถ้าพืชน้ำและแพลงก์ตอนพืชมีการสังเคราะห์แสงมากปริมาณออกซิเจนในน้ำจะเพิ่มมากขึ้น

2.4 การหายใจ ถ้าสัตว์น้ำ พืชน้ำ และพรรณไม้น้ำมีปริมาณหนาแน่นมาก จะทำให้มีการใช้ออกซิเจนเพิ่มมากขึ้น อาจทำให้เกิดภาวะขาดออกซิเจนและทำให้ปลาตายได้ปริมาณออกซิเจนที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงปลานิล ไม่ควรต่ำกว่า 3.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งควรต้องระมัดระวังมากในช่วงเช้า ซึ่งมักจะพบปรากฏการณ์ของปลาลอยหัวในตอนเช้า ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปริมาณออกซิเจนในบ่อเลี้ยงกำลังลดลง ดังนั้น จึงต้องมีการเปิดเครื่องตีน้ำเพื่อเพิ่มออกซิเจนในน้ำ (Mader et al., 2017)

3. คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ถ้าระดับของคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำมีค่าสูง จะทำให้ปลาตาย ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการสังเคราะห์แสงของพืชน้ำ และแพลงก์ตอนพืชในน้ำ ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์จะเพิ่มมากขึ้นในเวลากลางคืน ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงปลานิล ไม่ควรสูงเกิน 30 มิลลิกรัมต่อลิตร

4. อุณหภูมิ (Temperature) และช่วงแสง (Photoperiod) อุณหภูมิของน้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อการดำรงชีพ การเจริญเติบโต การเจริญพันธุ์ให้ดีขึ้น ในปลาทองพบว่าถ้าอุณหภูมิน้ำต่ำกว่า 14 ˚C แม้มีไข่แต่จะไม่วาง จะวางไข่เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นที่ 20 ˚C ปกติอุณหภูมิของน้ำตามธรรมชาติจะผันแปรกับอุณหภูมิอากาศ และเส้น Latitude กล่าวคือ อุณหภูมิจะสูงเมื่ออยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตร และจะต่ำเมื่อใกล้ขั้วโลก สัตว์น้ำเป็นพวกสัตว์เลือดเย็น (Poikilotherma) จะปรับอุณหภูมิร่างกายตามอุณหภูมิน้ำจะทนได้ช่วงอุณหภูมิที่ต่ำหากอุณหภูมิสูงและช่วงแสงมาก กิจกรรมต่าง ๆ ในการดำรงชีพจะสูงตามและลดลงเมื่ออุณหภูมิต่ำตามกฎของ Van Hoff's Law ขบวนการเมตาโบลิซึมจะเพิ่มขึ้น 2-3 เท่า เมื่ออุณหภูมิน้ำเพิ่มขึ้น 10 ˚C ขบวนการที่สำคัญได้แก่ การหายใจ การว่ายน้ำ การกินอาหาร การย่อยอาหารและขับถ่าย ปกติอุณหภูมิตัวปลาจะต่างจากอุณหภูมิของน้ำ 0.5-1 ˚C เหงือกเป็นอวัยวะสำคัญที่รักษาอุณหภูมิ ปลาขนาดเล็กชนิดเดียวกันสามารถปรับและรักษาอุณหภูมิได้ดีกว่าปลาขนาดใหญ่ เนื่องจากสัดส่วนปริมาตรของเหงือกกับร่างกายมีมากว่า เพราะฉะนั้นการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างรวดเร็วจะเกิดอันตรายต่อสัตว์น้ำ ทำให้ร่างกายอ่อนแอหรือช็อกตายได้ เช่น การขนส่งสัตว์น้ำในขณะที่อุณหภูมิสูง อุณหภูมิยังมีอิทธิพลต่อการควบคุมการถ่ายน้ำแร่ธาตุในร่างกาย ความหนาแน่นของน้ำ การละลายของออกซิเจนในแหล่งน้ำลดลง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น การแบ่งชั้นของน้ำตามอุณหภูมิในแหล่งน้ำลึกมากกว่า 2.5 เมตร (Thermal stratification) การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิยังมีผลต่อการเจริญเติบโตของ พืชน้ำ แพลงก์ตอน ซึ่งเกี่ยวข้องกับกำลังผลิตเบื้องต้นของแหล่งน้ำ เช่น ไดอะตอม ของแหล่งน้ำที่อุณหภูมิต่ำ 15-25 ˚C สาหร่ายสีเขียวชอบที่อุณหภูมิ 25-35 ˚C สาหร่ายน้ำเงินแกมเขียว ที่อุณหภูมิมากกว่า 35 ˚C ซึ่งไม่เป็นประโยชน์บางครั้งทำให้เกิดเน่าเสียเป็นพิษแก่สัตว์น้ำ อุณหภูมิสูงเกินไป ทำให้สารพิษประเภทต่าง ๆ เช่น ยากำจัดศัตรูพืชและแมลง มีพิษมากยิ่งขึ้น

5. สภาพด่างของน้ำ (Alkalinity) ความเป็นด่างของน้ำเป็นความสามารถของน้ำที่จะสะเทินกรดหรือที่จะรับโปรตอน ความเป็นด่างของน้ำประกอบไปด้วยคาร์บอเนตไบคาร์บอเนต และ

ไฮดรอกไซด์ เป็นส่วนใหญ่ (มั่นสิน, 2540) ในบางสภาวะธรรมชาติจะมีคาร์บอเนตและไฮดรอกไซด์สูง เช่น น้ำที่มีแพลงก์ตอนพืชมาก ค่าความเป็นด่างตามธรรมชาติไม่ถือว่าเป็นสารพิษ โดยปกติในบ่อเลี้ยงปลาจะมีค่าความเป็นด่างอยู่ระหว่าง 40-400 มิลกรัมต่อลิตร (Lawson, 1995) ค่าความเป็นด่างจะมีผลเกี่ยวเนื่องกับคุณสมบัติด้านอื่น ๆ เช่น ค่าพีเอชของน้ำ ค่าความเป็นกรด และค่าความกระด้าง เป็นต้น คุณสมบัติของค่าความเป็นด่างของน้ำคือ เป็นตัวช่วยควบคุมไม่ให้แหล่งน้ำมีการเปลี่ยนแปลงพีเอชเร็วเกินไป ถ้าค่าความเป็นด่างสูงจะป้องกันมิให้ค่าพีเอชเปลี่ยนแปลงมาก ถ้าความเป็นด่างต่ำการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในรอบวันเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ ค่าความเป็นด่างของน้ำกับความกระด้างของน้ำมักจะมีความสัมพันธ์กัน น้ำที่เหมาะสำหรับการใช้เลี้ยงสัตว์ควรมีค่าความเป็นด่างและความกระด้างใกล้เคียงกัน เราสามารถปรับความเป็นด่างได้โดยการเติมปูนขาว ในบางพื้นที่มีปัญหาเกี่ยวกับค่าความเป็นด่างของน้ำสูงและค่าความกระด้างต่ำมักทำให้ค่าพีเอชของน้ำสูงจนทำให้ปลาตายได้ โดยเฉพาะในช่วงตอนบ่ายซึ่งมีแพลงก์ตอน พืชมีการสังเคราะห์แสงสูง การแก้ไขทำได้โดยใช้สารเคมี เช่น ปุ๋ยแอมโมเนียม อะลูมิเนียมซัลเฟตและแคลเซียมซัลเฟต (ประเทือง, 2534)

6. ความโปร่งแสงของน้ำ (Transparency depth) ค่าความโปร่งแสงของน้ำเป็นความสามารถในการวัดการส่องผ่านของแสงในการทะลุผ่านลงไปในน้ำ ความโปร่งแสงของน้ำที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ ควรมีค่าอยู่ ระหว่าง 30-60 เซนติเมตร ถ้าค่าความโปร่งแสงต่ำกว่า 30 เซนติเมตร แสดงว่าน้ำมีความขุ่นหรือมีปริมาณแพลงก์ตอนมากเกินไป แต่ถ้าน้ำมีความโปร่งใสมากกว่า 60 เซนติเมตร ขึ้นไปแสดงว่าน้ำนั้นไม่มีความอุดมสมบูรณ์ ไม่เหมาะต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (มงคล, 2533)

7. สารประกอบไนโตรเจน ไนโตรเจนเป็นสารประกอบหลักของโปรตีน ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของสิ่งมีชีวิต แบคทีเรีย และพืชบางชนิดสามารถตรึงแก๊สไนโตรเจนจากอากาศได้โดยตรง พืชสีเขียวอาจใช้ไนโตรเจนที่อยู่ในสารประกอบ เช่น แอมโมเนีย หรือไนเตรท สำหรับการสังเคราะห์แสงเพื่อสร้างโปรตีน สารประกอบไนโตรเจนของแหล่งน้ำมีอยู่หลายรูปแบบ ซึ่งมีความสำคัญแตกต่างกันในด้านการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำนิยมศึกษาใน 3 รูปแบบ คือ แอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรท ซึ่งเป็นอนินทรีย์ไนโตรเจน ส่วนอินทรีย์ไนโตรเจนเป็นการวัดไนโตรเจนในองค์ประกอบของสิ่งมีชีวิต ปริมาณสารประกอบไนโตรเจนชนิดต่าง ๆ ยังสามารถใช้เป็นดัชนีให้เห็นถึงภาวะ ความเน่าเสียที่เกิดขึ้น แอมโมเนียโดยปกติเป็นพิษต่อปลาและกุ้ง โดยเฉพาะในรูปของ Unionized form หรือแอมโมเนียส่วน Ionized Form หรือแอมโมเนียม ไม่มีพิษต่อสัตว์น้ำ เว้นแต่จะมีอยู่ในปริมาณสูงมาก ๆ การแตกตัวของแอมโมเนียขึ้นอยู่กับค่าพีเอชและอุณหภูมิของน้ำ ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียที่จะไม่เป็นอันตรายต่อปลาไม่ควรเกิน 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร (ชนินทร์, 2556)

8.ความเค็ม (Salinity) ความเค็มของน้ำ หมายถึง ปริมาณของแข็ง (Solid) หรือเกลือแร่ต่าง ๆ โดยเฉพาะโซเดียมคลอไรด์ที่ละลายอยู่ในน้ำ โดยนิยมคิดเป็นหน่วยน้ำหนักของสารดังกล่าวเป็นกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำ หรือส่วนในพัน (Part Per Thousand, ppt.) ทั้งนี้หลังจากที่พวกเกลือคาร์บอเนต (Carbonate) ถูกเปลี่ยนเป็น Oxides และพวกเกลือโบไมด์ (Bromide) และไอโอไดด์ (Iodide) ถูกแทนที่โดยคลอไรด์ (Chloride) และอินทรีย์วัตถุ (Organic Matter) ถูกออกซิไดส์ไป ทั้งหมดความเค็มของน้ำจะมีค่าแตกต่างกันไป แล้วแต่สถานที่และประเภทของดิน สำหรับน้ำจืดมีค่าความเค็มประมาณศูนย์ สัตว์น้ำจืดโดยทั่วไปจะสามารถอยู่ในน้ำที่มีความเค็มประมาณ 7 ppt. ได้ และบางชนิดจะอาศัยอยู่ในน้ำที่มีความเค็มสูงกว่านี้ได้ แต่ต้องให้เปลี่ยนแปลง ทีละน้อยดังที่กล่าวมาแล้ว ปัจจุบันเริ่มนิยมเลี้ยงปลานิลซึ่งเป็นปลาน้ำจืด ความเค็มระหว่าง 5-10 ppt. ในน้ำกร่อยและการเลี้ยงปลากะพงขาวและกุ้งทะเลในน้ำจืดที่มีความเค็มน้อย ในเชิงพาณิชย์มากขึ้น (เกรียงศักดิ์, ม.ป.ป)

9. ความกระด้างของน้ำ (Hardness) เกิดจากปริมาณของเกลือแคลเซียมที่ละลายอยู่ในน้ำทั้งหมด ซึ่งปริมาณเกลือเหล่านี้มีผลต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ เป็นส่วนประกอบของกระดูก เปลือก กุ้ง ปู หอย และมีผลต่อการฟัก และการเจริญของตัวอ่อน เป็นต้น น้ำในบ่อปลานิลควรมีความกระด้างอยู่ที่ 15-300 มิลลิกรัมต่อลิตร ถ้าในบ่อเลี้ยงปลามีค่าความกระด้างต่ำกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้ปลาเจริญเติบโตช้า เครียด และตายได้ (กรมประมง, ม.ป.ป)

10. ฟอสฟอรัส (Phosphorus) ฟอสฟอรัสเป็นแร่ธาตุชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญต่อปลา โดยมีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการเมแทบบอลิซึมต่าง ๆ ในร่างกาย ปลามีความต้องการฟอสฟอรัสในปริมาณมาก แต่มีความสามารถดูดซึมฟอสฟอรัสจากน้ำได้น้อยเมื่อเทียบกับแร่ธาตุชนิดอื่น ๆ เช่น แคลเซียม ประกอบกับฟอสฟอรัสในน้ำมีอยู่น้อยมากโดยอยู่ในช่วง 0.005 - 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร (Dato-Cajegas and Yakupitiyage, 1996)

11. ความขุ่น (Turbidity) ความขุ่นของน้ำจะเกิดจากสารแขวนลอยในน้ำ เช่น อนุภาคดิน ทราย แพลงก์ตอน แบคทีเรีย แร่ธาตุ ทำให้ปริมาณแสงที่ส่องลงไปในน้ำลดลง โดยความขุ่นที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงปลานิลควรอยู่ในช่วง 30-60 เซนติเมตร (กรมประมง, ม.ป.ป)

เทคโนโลยีไบโอฟลอค

ภาพที่ 2 ตะกอนจุลินทรีย์ (Biofloc)

เทคโนโลยีไบโอฟลอค (Biofloc technology) คือ การใช้ตะกอนจุลินทรีย์ (Biofloc) มาช่วยในการย่อยสลายซากของเสีย (แอมโมเนีย) เปลี่ยนของเสียเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ ไบโอฟลอคสามารถเกิดได้เองตามธรรมชาติ แต่ถ้าน้ำไม่หมุนเวียนหรือเคลื่อนไหวฟลอคนั้นก็จะตกตะกอนสะสมที่พื้นก้นบ่อกลายเป็นของเสียเช่นเดิม ไบโอฟลอค จะเกิดเมื่อเกิดความสมดุลของอัตราส่วนของคาร์บอนและไนโตรเจนในน้ำ ถ้ามีการปล่อยของเสียจำพวกสารอินทรีย์ซึ่งมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบได้แก่ กรดอะมิโน (Amino acid) โปรตีน (Protein) ซึ่งจะกลายไปเป็นแอมโมเนียม และสารอาหารจำพวกคาร์โบไฮเดรต (แหล่งคาร์บอน) ได้แก่ แป้ง (Starch) น้ำตาล (Sugar) เซลลูโลส (Cellulose) และพวกกากใย (Fiber) ลงไปในน้ำของเสียนี้จะถูกเปลี่ยนไปเป็นตะกอนจุลินทรีย์ ตะกอนจุลินทรีย์ไบโอฟลอคนี้จะเป็นกลุ่มของจุลินทรีย์จำพวกเฮทเทอโรโทรฟิค (Heterotrophic bacteria) ที่มารวมตัวกันเป็นตะกอนแขวนลอย ขนาดของกลุ่มฟลอคอยู่ที่ 0.2-2.0 มิลลิเมตร (Avnimelech, 2015) (ภาพที่ 2) ถ้ามีการเติมสารอาหารจำพวกคาร์โบไฮเดรตลงไปอีกมันจะไปกระตุ้นให้ไบโอฟลอคดึงไนโตรเจน (แอมโมเนีย) มาใช้ในการสร้างเซลล์ใหม่มากขึ้นจำนวนจุลินทรีย์ก็จะเพิ่มมากขึ้น ปริมาณแอมโมเนียในน้ำก็จะลดลง ซึ่งเนื้อเซลล์ใหม่ที่ว่านี้ก็คือสารพวกโปรตีน เมื่อสัตว์น้ำกินจุลินทรีย์ที่รวมตัวเป็นฟลอคเข้าไปก็เท่ากับว่าสัตว์น้ำได้กินอาหารที่มีโปรตีนนั่นเอง การใช้กลุ่มฟลอคในการกำจัดแอมโมเนียนี้จะเร็วกว่าการเกิดกระบวนการไนตริฟิคเคชั่น (Nitrification) เนื่องจาก Heterotropic bacteria จะเจริญเติบโตเร็วกว่า Nitrifying bacteria ประมาณ 10 เท่า ทำให้น้ำที่ใช้เลี้ยงสัตว์น้ำมีคุณภาพดี การเปลี่ยนถ่ายน้ำน้อยลงและส่งผลให้สัตว์มีสุขภาพดีตามไปด้วย (Crab et al., 2012)

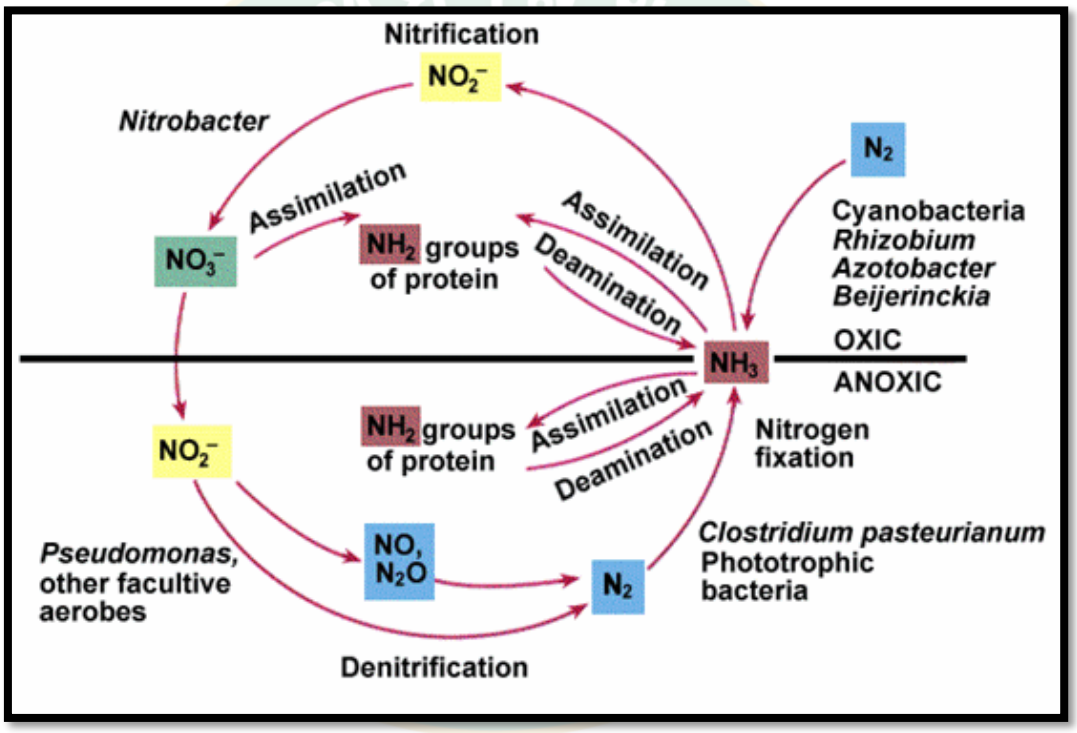
กระบวนการเกิด Biofloc สามารถเกิดได้เองตามธรรมชาติ แต่ข้อจำกัดว่าแหล่งน้ำหรือบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำจะต้องมีการเคลื่อนไหวของมวลน้ำอยู่ตลอดเวลาเพราะกลุ่มฟลอคจะตกตะกอนที่พื้นก้นบ่อและกลายเป็นของเสียเช่นเดิม ไบโอฟลอคจะเกิดได้ดีเมื่อในแหล่งน้ำมีสัดส่วนระหว่างคาร์บอนกับไนโตรเจน (C:N ratio) ที่เหมาะสม แหล่งที่มาของคาร์บอน ได้แก่ แป้ง (Starch) น้ำตาล (Sugar) เซลลูโลส (Cellulose) และพวกกากใย (Fiber) แหล่งที่มาของไนโตรเจน ได้แก่ กรดอะมิโน (Amino acid) โปรตีน (Protein) (อนุสรา, 2556)

การบำบัดไนโตรเจนจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำทางชีวภาพ (เอกชัย, 2551) การที่ไนโตรเจนสามารถเปลี่ยนแปลงรูปแบบได้นั้น จำเป็นต้องอาศัยกระบวนการของสิ่งมีชีวิตเล็ก ๆ จำพวกแบคทีเรียเข้ามาเป็นตัวช่วย กระบวนการหลักในการบำบัดไนโตรเจนผ่านโดยผ่าน 2 กระบวนการดังนี้

1.กระบวนการไนตริฟิเคชั่น (Nitrification) กระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification) เป็นกระบวนการออกซิไดซ์แอมโมเนียซึ่งมีความเป็นพิษสูงต่อสัตว์น้ำให้เป็นไนไตรท์และไนเตรท โดยอาศัยทำหน้าที่ของแบคทีเรียประเภทออโตทรอฟ 2 ชนิด ใน 2 ขั้นตอนย่อย ขั้นตอนย่อยแรกคือ ไนไตรเตชัน (Nitritation) โดยแบคทีเรียกลุ่ม Ammonium oxidizing bacteria (AOB) มีหน้าที่ออกซิไดซ์แอมโมเนียให้เป็นไนไตรท์ ส่วนขั้นตอนย่อยที่สองคือ ไนเตรเตชัน (Nitritation) โดยแบคทีเรียกลุ่ม Nitrite oxidizing bacteria (NOB) ทำหน้าที่ออกซิไดซ์ไนไตรท์เป็นไนเตรท ขณะที่แบคทีเรียออกโตทรอฟ ทั้ง 2 ชนิดออกซิไดซ์แอมโมเนียเป็นไนไตรท์ และไนเตรท ระบบจะอยู่ในสภาวะแอโรบิค และได้พลังงานออกมา แบคทีเรียจะใช้พลังงานนี้ไปดึงเอาคาร์บอนไดออกไซด์ หรือ ไฮโดรเจนคาร์บอเนตมาเป็นแหล่งคาร์บอน (Carbon source) ต่อไป แบคทีเรียไนตริไฟอิงที่ทำให้เกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน ได้แก่ แบคทีเรียพวก Autotrophic ammonia oxidizing bacteria (AOB) เป็นแบคทีเรียที่ออกซิไดซ์แอมโมเนียให้เป็นไนไตรท์ เช่น *Nitrosomonas* spp. และ *Nitrosospira* spp. และแบคทีเรียพวก Nitrite oxidizing bacteria (NOB) เป็นแบคทีเรียที่ออกซิไดซ์ไนไตรท์ให้เป็นไนเตรท เช่น *Nitrobacter* spp. และ *Nitrospira* spp. (Sofia et al., 2014)

2.กระบวนการดีไนตริฟิเคชั่น (Denitrification) กระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) เป็นกระบวนการรีดิวซ์ไนเตรทให้อยู่ในรูปของก๊าซไนโตรเจน (Nitrogen gas or molecular nitrogen) หรือบางทีมีก๊าซอื่น ๆ รวมทั้ง Nitrous เกิดขึ้นด้วยจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน ประกอบด้วยสองพวกใหญ่ ๆ ด้วยกันคือ พวกแรกเป็นพวกที่ไม่ขึ้นกับไนเตรทโดยสามารถที่จะเจริญอยู่ได้สภาวะที่ไม่มีไนเตรท แต่มีความสามารถในการย่อยสลายโปรตีนหรืออาศัยกระบวนการ Ammonification หรือกระบวนการอื่น ๆ พวกที่สองเป็นพวกที่มีชีวิตอยู่ได้โดยที่ต้องมีไนเตรท เช่น แบคทีเรียบางชนิด ในจีนัส *Pseudomonas, Achromobacter*, *Bacillus*,

Micrococcus และ *Thiobacillus denitrificans* โดยส่วนใหญ่กระบวนการดีไนตริฟิเคชัน ไนเตรทจะถูกเปลี่ยนให้เป็นก๊าซไนไตรเจน โดยกลุ่มจุลินทรีย์กลุ่ม Aerobic heterotrophic bacteria ที่สามารถใช้ไนเตรท ไนไตรท์ ไนตริกออกไซด์ หรือซัลเฟต เป็นตัวรับอิเล็กตรอนแทนออกซิเจนอิสระในสภาวะแอนอกซิก ในปฏิบัติกิริยาที่มีไนเตรท เป็นตัวรับอิเล็กตรอนแทนออกซิเจนอิสระ กระบวนการดีไนตริฟิเคชันจะมีขั้นตอนการเกิดของปฏิกิริยา 4 ขั้นตอนด้วยกันคือ ไนตริกออกไซด์ถูกเปลี่ยนเป็นไนตรัสออกไซด์ ไนไตรท์เปลี่ยนเป็นไนตริกออกไซด์ ไนตริกออกไซด์ถูกเปลี่ยนเป็นไนตรัสออกไซด์และได้ก๊าซไนโตรเจน ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายของกระบวนการไนตริฟิเคชัน โดยมีเอนไซม์ที่กระตุ้นการลดรูปของไนโตรเจน

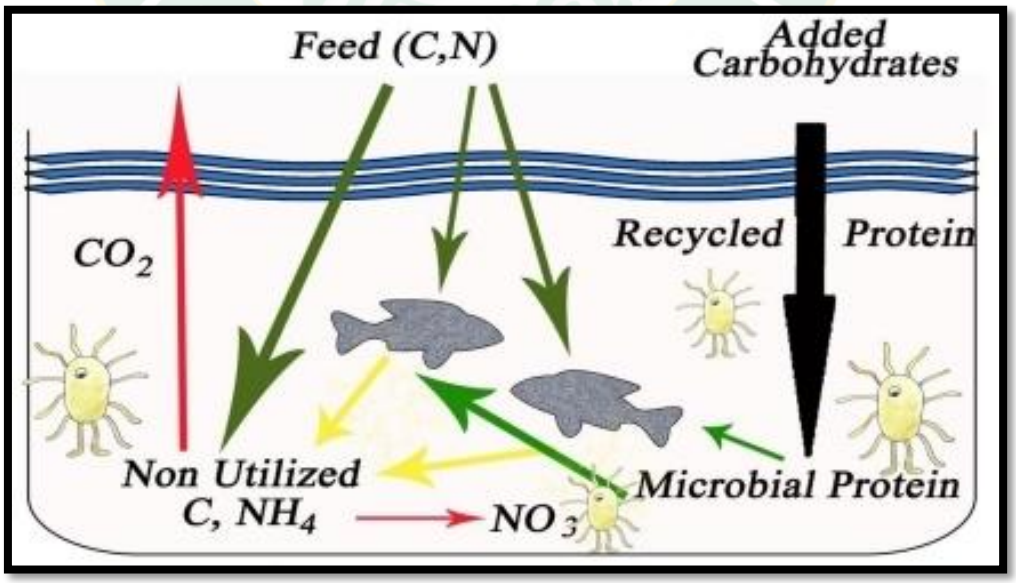


ภาพที่ 3 แสดงกระบวนการไนตริฟิเคชั่นและกระบวนการดีไนตริฟิเคชั่น

การบำบัดไนโตรเจนด้วยเทคโนโลยีไบโอฟลอค

โดยปกติแล้วอาหารที่เหลือจากการใช้ประโยชน์แก่สัตว์น้ำก็มักจะตกตะกอนอยู่ที่ก้นบ่อหรือไม่ก็อุดตันอยู่ตามตัวกรองต่างๆ ซึ่งถือเป็นต้นเหตุสำคัญที่ก่อให้เกิดการสะสมของสารอนินทรีย์ไนโตรเจนภายในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำนั่นเอง ด้วยเหตุนี้แนวคิดเกี่ยวกับการใช้ไบโอฟลอคมาเป็นตัวช่วยบำบัดไนโตรเจนจึงได้เกิดขึ้น ภายใต้เงื่อนไขที่ว่า การที่จะให้ไบโอฟลอคทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพภายในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ (อานุภาพ, 2556)

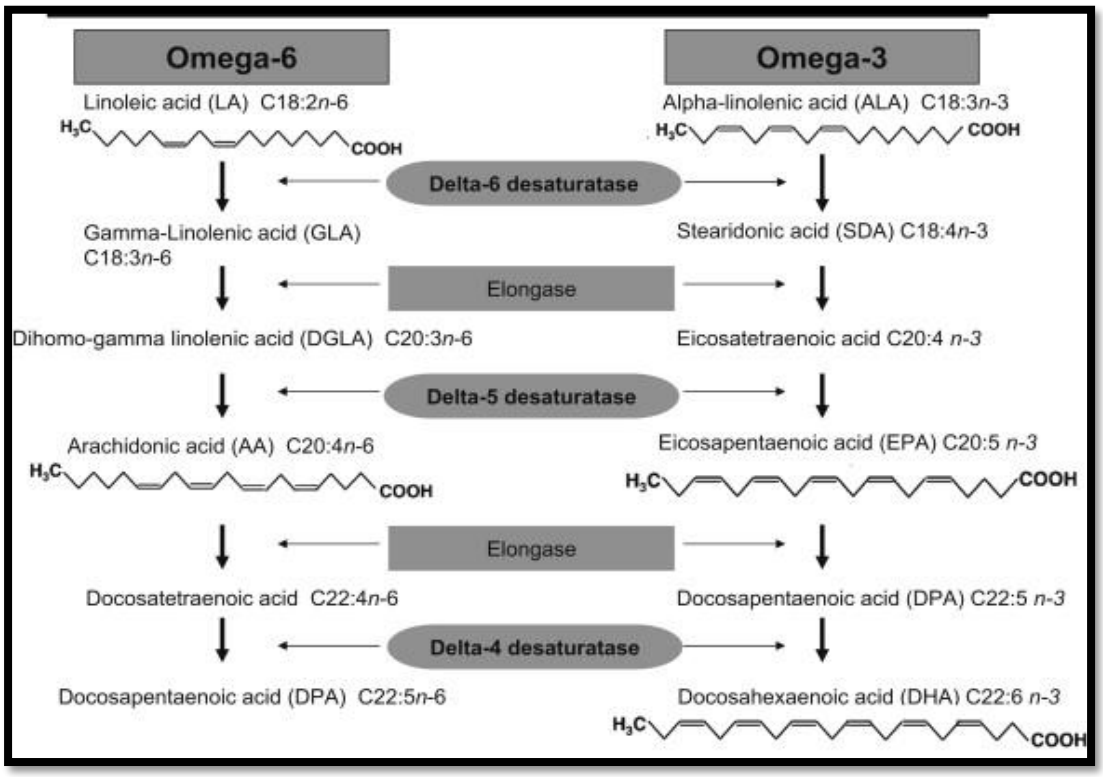
- จะต้องมีการผสมและหมุนเวียนของน้ำภายในบ่อเป็นอย่างดี
- ต้องทำการเติมก๊าซออกซิเจนให้มากพอ
- การควบคุมสัดส่วนของคาร์บอนกับไนโตรเจนให้เหมาะสม ซึ่งสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างคาร์บอนกับไนโตรเจน (C : N ratio) ที่เหมาะสมคือ 20 กล่าวคือ หากน้ำในบ่อมีไนโตรเจนเท่ากับ 1 คาร์บอนก็มีเท่ากับ 20 จึงจะทำให้จุลินทรีย์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ สาหรับแหล่งที่มาของคาร์บอนคือ สารที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบได้แก่ แป้ง (Starch) น้ำตาล (Sugar) เซลลูโลส (Cellulose) และพวกกากใย (Fiber) ส่วนแหล่งที่มาของไนโตรเจนคือ สารที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบได้แก่ กรดอะมิโน (Amino acid) โปรตีน (Protein) ปัจจัยที่กล่าวมาข้างต้นนี้ถือเป็นปัจจัยที่ช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตของแบคทีเรียกลุ่มเฮทเทโรโทรฟิคให้มีปริมาณเพียงพอภายในบ่อเลี้ยงนั่นเอง และรวมกลุ่มกันกลายเป็นกลุ่มไบโอฟลอคในที่สุด



ภาพที่ 4 กระบวนการการสร้าง Biofloc ในบ่อเลี้ยงปลา

ที่มา: Avnimelech (1999)

กรดไขมันโอเมก้า 3 (Omega-3)



ภาพที่ 5 กลไกการสังเคราะห์กรดไขมันในตระกูลโอเมก้า-6 และโอเมก้า-3
ที่มา: Luchtman and Song (2013)

โดยทั่วไป ไขมันแบ่งตามประเภทของกรดไขมันได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ ไขมันอิ่มตัว ไขมันไม่อิ่มตัว

1. กรดไขมันอิ่มตัว (Saturated fatty acids) เป็นกรดไขมันที่มีโครงสร้างอะตอมคาร์บอนและไฮโดรเจนเชื่อมต่อกันด้วยพันธะเดี่ยวตลอดสาย กรดไขมันอิ่มตัวที่มีมากที่สุดธรรมชาติ คือ กรดพาลมิติก (Palmitic acid: C16) รองลงมา คือ กรดสเตียริค (Stearic acid: C18) ซึ่ง กรดไขมันเหล่านี้ร่างกายได้จากอาหารหรือสังเคราะห์ขึ้นได้เอง

2. กรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acids) เป็นกรดไขมันที่มีพันธะคู่อยู่บนโครงสร้างคาร์บอน ตรงตำแหน่งพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวจะมีโครงสร้าง 2 แบบ คือแบบ *cis* และ *trans* ส่วนใหญ่กรดไขมันไม่อิ่มตัวจะมีพันธะคู่อยู่ในรูปแบบ *cis* ในธรรมชาติจะพบกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวมากที่สุดและมักพบว่าพันธะคู่จะอยู่ระหว่างอะตอมของคาร์บอนที่ 9หรือ 10 (Mapato et al., 2010) โดยกรดไขมันไมอิ่มตัวจำแนกออกได้เป็น 2 ชนิด ตามลักษณะของโครงสร้างและจำนวนพันธะคู่ ดังนี้

2.1 กรดไขมันที่มี 1 พันธะคู่ (Monounsaturated fatty acids) เป็นกลุ่มที่พันธะคู่เพียง 1 พันธะ กรดไขมันที่มีมากที่สุดในร่างกาย คือ กรดพาล์มิโทเลอิค (Palmitoleic, C16:1) และกรดโอเลอิค (Oleic acid, C18:2)

2.2 กรดไขมันที่มีมากกว่า 1 พันธะคู่ (Polyunsaturated fatty acids) เป็นกลุ่มที่

มีพันธะคู่มากกว่า 2 พันธะขึ้นไป ปกติพันธะคู่ของกรดไขมันจะไม่อยู่ชิดกันมีหมู่ Methylene (-CH2-) คั่นกลาง ตัวอย่างเช่น กรดลิโนเลอิก (Linoleic, C18:2) กรดลิโนเลนิก (Linolenic, C18:3) และกรดอะแรชิโดนิก (Arachidonic, C20:4) เป็นต้น (Park et al., 2013)

การจำแนกกรดไขมันตามความจำเป็นของร่างกายได้เป็น 2 กลุ่ม ได้แก่

1. กรดไขมันไม่จำเป็น (Non- essential fatty acid) เป็นกรดไขมันที่ร่างกายสามารถสังเคราะห์ขึ้นได้เอง กรดไขมันไม่จำเป็นที่พบมากที่สุดในร่างกาย ได้แก่ กรดพาล์มิติก (C16) และกรดสเตียริก (C18) ตามลำดับ

2. กรดไขมันจำเป็น (Essential fatty acid ; EFA) เป็นกรดไขมันที่ร่างกายไม่สามารถสังเคราะห์ขึ้นได้เองจำเป็นต้องได้รับจากอาหารเท่านั้น (Morel et al., 2013) กรดไขมันจำเป็นที่มีความสำคัญต่อร่างกาย ได้แก่ กรดลิโนเลอิก กรดลิโนเลนิก และ กรดอะราซิโดนิก
สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม (Park et al., 2013) คือ

2.1 กรดไขมันโอเมก้า 3 (Omega-3 fatty acid) ประกอบด้วย

2.1.1 กรดลิโนเลนิก (Linolenic acid) หรือ **ω** -3 fatty acid มีสูตรโมเลกุล คือ 18:3 **ω**-3 เป็นกรดไขมันที่ร่างกายไม่สามารถผลิตได้เอง ต้องได้รับจากสารอาหารเท่านั้น **ω** -3 fatty acids จะมีพันธะคู่ ที่ตำแหน่ง C3 นับจากหมู่เมทิล พบมากในอาหารจำพวกปลาและน้ำมันพืช เช่น ปลาแซลมอน (Salmon) ปลาซาดีนส์ (Sardines) ผลวอลนัท (Walnut) และ ถั่วหลือง (Morel et al., 2013)

2.1.2 Eicosapentaenoic acid (EPA) มีสูตรโมเลกุล 22:5 n-3 โดยมีจำนวนคาร์บอน 22 อะตอม มีพันธะคู่ 5 คู่ พบมากในปลา น้ำมันตับปลาและสาหร่าย

2.1.3 Docosahesaenoic acid (DHA) เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีโมเลกุลยาวที่สุด มีสูตรโมเลกุล 22:6 n-3 โดยมีจำนวนคาร์บอน 22 อะตอม มีพันธะคู่ 6 คู่เป็นส่วนสำคัญของเยื่อหุ้ม เซลล์สมองและจอตา เป็นกรดไขมันที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตตามปกติของเซลล์ประสาทของทารกในครรภ์

2.2 กรดไขมันโอเมก้า 6 (Omega-6 fatty acid) ประกอบด้วย

2.2.1 กรดลิโนเลอิก (linoleic acid) หรือ **ω** -6 fatty acid หรือวิตามินเอฟ มีสูตรโมเลกุล 18:2 n-6 เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวและเป็นวิตามินประเภทที่ละลายในไขมัน มีประโยชน์

ช่วยให้ร่างกายเผาผลาญไขมันอิ่มตัวได้ดีขึ้นช่วยให้เซลล์ได้รับสารอาหารได้มากขึ้น โดยเป็นตัวป้อนสารอาหารให้แก่เซลล์ รักษาสมดุลของระบบการแข็งตัวของเลือด เสริมสร้างความแข็งแรงให้แก่ผนังหลอดเลือดและเยื่อหุ้มเซลล์ (Morel et al., 2013) รวมตัวกับคอเรสเตอรอลเพื่อขนส่งไปในกระแสเลือด มีผลทำให้ระดับคอเรสเตอรอลและไตรกลีเซอไรด์ในเลือดลดลง ร่างกายไม่สามารถสังเคราะห์กรดลิโนเลอิกได้ต้องได้จากสารอาหารเท่านั้น กรดลิโนเลอิกมีมากในน้ำมันพืช เช่น น้ำมันข้าวโพด น้ำมันเมล็ดทานตะวัน (ยกเว้น น้ำมันปาล์ม และน้ำมันมะพร้าว) ในสัตว์น้ำ เช่น ปลา หอย จะพบกรดลิโนเลอิก ได้เช่นกัน โดยเฉพาะในน้ำมันตับปลาคอด จะมีกรดลิโนเลอิกมากที่สุด (National Research Council, 2000)

2.2.2 กรดอะราชิโดนิก (Arachidonic acid) เป็นกรดไขมันที่สร้างจากกรดลิโนเลอิก มีความสำคัญในการพัฒนาของระบบประสาทและการทำงานของระบบประสาทตา นอกจากนี้ยังช่วยลดระดับคอเรสเตอรอลและป้องกันโรคหัวใจหลอดเลือดได้ด้วย กรดอะราชิโดนิกมีมากในน้ำมันดอกคำฝอย น้ำมันดอกทานตะวัน และน้ำมันถั่วเหลือง

คุณประโยชน์ของกรดไขมันโอเมก้า-3

1. ช่วยลดการจับตัวของเกล็ดเลือดที่ทำาให้เกิดลิ่มเลือดเป็นไปได้ช้าลง จะช่วยลดปริมาณไขมันในเลือดด้วย (ณาตยา และคณะ, 2540) ป้องกันการเกิดโรคเกี่ยวกับหัวใจและโรคความดันโลหิตสูงซึ่งกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 ในน้ำมันปลาจะไปกระตุ้นการสร้าง LDL receptor ที่ Extra hepatic tissue มากขึ้น และเนื้อเยื่อส่วนนี้จะเปลี่ยน (Low density lipoprotein, LDL) ให้เป็น (High density lipoprotein, HDL) โดยเอนไซม์ Lipoprotein lipase แล้วขับออกสู่กระแสเลือด โดยพบว่าในกลุ่มชาวเอสกิโมที่บริโภคปลาทะเลที่มีปริมาณของกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 สูงเป็นอาหารหลักจะมีอัตราการตายของโรคหัวใจต่ำมาก (Sander, 1994) เนื่องจากช่วยลดไขมันทั้งไตรกลีเซอร์ไรด์และโคเลสเตอรอลลง

2. ช่วยพัฒนาระบบประสาทและบำรุงสมองให้ความจำดีขึ้น เสริมสร้างการเจริญเติบโตของปลายประสาทที่เดนไดรท์ (Dendrite) ซึ่งทำหน้าที่เกี่ยวกับการถ่ายทอดสัญญาณและผ่านข้อมูลระหว่างเซลล์สมอง ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการเก็บความจำและการเรียนรู้ (Voet and Voet, 1999)

3. บรรเทาอาการปวดบวมของโรคข้ออักเสบและใช้โอเมก้า-3 เป็นอาหารเสริมร่วมกับยารักษาโรคไขข้ออักเสบเนื่องจากสาร DHA และ EPA ลดการสร้างสารที่ก่อให้เกิดการอักเสบที่ชื่อว่า ลิวโคไตรอีน (Leukotrienes) ซึ่งช่วยลดการอักเสบ

4. เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์เม็ดเลือดขาว จึงมีผลกระตุ้นการแบ่งเซลล์ในทางอ้อม เมื่อเซลล์เม็ดเลือดขาวเพิ่มขึ้น ทำให้ระบบภูมิคุ้มกันทำงานได้ดีขึ้น (พันทิพา, 2546)

5. การบริโภคน้ำมันปลายังมีผลทำให้ EPA และ DHA เพิ่มสูงขึ้นไปด้วยควบคู่ไปกับการลดลงของ Arachidonic acid เกิดการแข่งขันกันในการทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ Cyclooxygenase มีผลในการยับยั้งการสร้าง Tromboxanase A2 (TXA2) ที่มีผลทำให้เกล็ดเลือดจับตัวกัน และสร้างสารพรอสต้าแกลนดิน (Prostaglandin : PG) เป็นสารที่คล้ายฮอร์โมนที่มีสำคัญ ทำหน้าที่ต้านการจับตัวกันของเกล็ดเลือดและทำให้หลอดเลือดขยายตัว นอกจากนี้ยังมีผลทำให้เกล็ดเลือดสร้าง Tromboxanase A3 ที่ไม่มีผลต่อการจับตัวของเกล็ดเลือด (Voet and Voet, 1999)

การบริโภคอาหารที่มีกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 เป็นที่ยอมรับกันว่ากรดไขมันกลุ่มนี้มีประโยชน์ต่อร่างกาย ดังรายงานการวิจัยหลายงานได้ผลการศึกษาที่ตรงกันเกี่ยวกับความสัมพันธ์จากการบริโภคอาหารที่มีกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 และการป้องกันการเกิดโรคต่าง ๆ สรุปดังตารางที่ 1 (วิทธวัช และสุทิศา, 2556)

ตารางที่ 1 ประโยชน์ด้านสุขภาพจากการบริโภคอาหารที่มีกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3

แหล่งที่มา	ประโยชน์จากการบริโภคอาหารที่มีกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3
Lewis et al. (1996)	- ลดระดับไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) - เพิ่ม HDL (High density lipoprotein) - ยับยั้งการเจริญของมะเร็งเต้านม และมะเร็งต่อมลูกหมาก
Van Elswyk et al. (1998)	- ลดความเสี่ยงจากการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจอุดตัน (Coronary heart disease) - ลดการเกาะตัวของเกล็ดเลือด (Platelet aggregability)
Daviglus et al. (1997)	- ช่วยลดการเกิดโรคไขมันอุดตันในเส้นเลือด
Pandalai et al. (1996)	- ยับยั้งการเจริญของมะเร็งเต้านม และมะเร็งต่อมลูกหมาก
Kang and Leaf (1996)	- ป้องกันการเกิดการเต้นของหัวใจผิดจังหวะ (Tachyarrhythmias)
Fernandes (1995)	- ช่วยยืดอายุการทำงานของภูมิคุ้มกัน - ช่วยพัฒนาเซลประสาท สมอง ทางด้านสายตา และระบบสืบพันธุ์ของทารกตั้งแต่อยู่ในครรภ์
Siscovick et al. (1995)	- ลดความเสี่ยง และยับยั้งการเกิดโรคหัวใจ (Cardiac arrest)

ที่มา: Spiller (1996)

แหล่งของกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 ที่นำมาใช้เป็นอาหารสัตว์

แหล่งของกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 ที่นำมาใช้เป็นอาหารสัตว์ แหล่งของกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 ที่เสริมในอาหารสัตว์ส่วนใหญ่มาจาก 2 แหล่ง คือ จากน้ำมันพืช ได้แก่ Linseed oil และ Rapeseed oil ซึ่งมีส่วนประกอบของกรดไขมัน 50% เป็นกรดไขมันชนิด ALA และจากปลาทะเลน้ำลึก (Fish oil) ซึ่งเป็นแหล่งของ DHA และ EPA น้ำมันจากปลาทะเลน้ำลึกที่นำมาใช้เป็นอาหารสัตว์มีหลายชนิด เช่น Herring oil Salmon oil Sardine oil และ Tuna oil เป็นต้น ซึ่งปลาแต่ละชนิดจะมีกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 แตกต่างกันไปตามแหล่งที่อยู่อาศัย และอาหารที่ได้รับ ดังนั้นการนำแหล่งของกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 จากพืชน้ำมันมาใช้ในอาหารสัตว์ จะได้ผลผลิตที่มี ALA สูง ทั้งนี้เนื่องจากสัตว์มีความสามารถเปลี่ยนรูป ALA เป็น EPA และ DHA ได้น้อยมาก โดยมีประสิทธิภาพการเปลี่ยน ALA เป็น EPA ได้ 0.2% และเปลี่ยนจาก EPA เป็น DHAได้เพียงแค่ 0.05% (Burdge and Calder, 2005) ซึ่ง EPA มีบทบาทสำคัญต่อการป้องกันการอุดตันของเส้นเลือด ดังนั้นการเสริมน้ำ มันปลาทะเลจะมีผลเพิ่ม DHA และ EPA ในผลิตภัณฑ์สัตว์ได้สูงกว่าการใช้พืชน้ำมันในสูตรอาหารเพียงอย่างเดียว (สุวิมล, 2557)

น้ำมันปลา

น้ำมันปลาเป็นน้ำมันที่สกัดได้จากปลาทะเลน้ำลึก โดยเฉพาะในเขตหนาว เช่น ปลาแมคคลอเรล เฮอริง ทูน่าและแซลมอน เป็นต้น น้ำมันปลาเป็นแหล่งของกรดไขมันที่สำคัญ 2 ชนิด คือ Eicosapentaenoic acid (EPA) และ Docoxaexaenoic acid (DHA) ซึ่งเป็นกรดไขมันอิ่มตัวหลายพันธะคู่ น้ำมันปลามีบทบาทสำคัญต่อร่างกายคือเป็นส่วนประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ ช่วยลดการเกาะกลุ่มของเกล็ดเลือด มีผลในการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายรวมทั้งมีผลลดสภาวะการอักเสบในร่างกาย

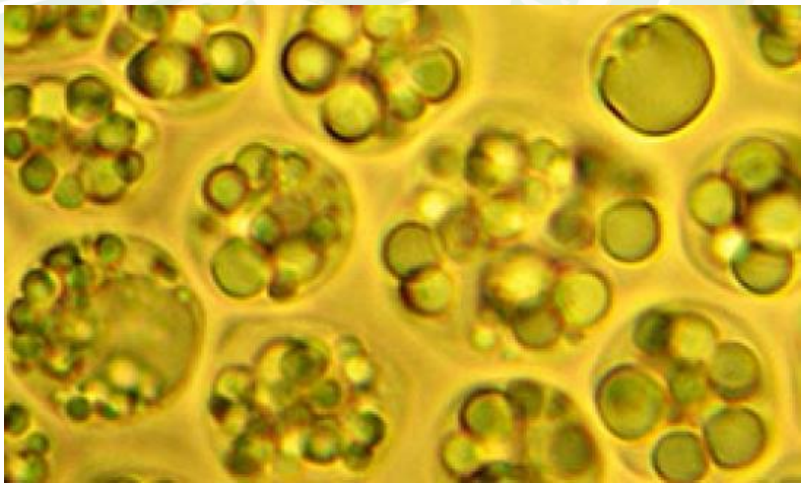
ตารางที่ 2 องค์ประกอบของกรดไขมันที่พบในน้ำมันปลา

Fatty acid	Result (%w/w)					
	Softshell turtle oil	Freshwater eel oil	Shark liver oil 1	Shark liver oil 2	Tuna oil	Lemuru oil
Caprilic acid, C8:0	n.d.	2.47	-	-	-	-
Capric acid, C10:0	0.02	1.93	n.d.	0.02	-	-
Lauric acid, C12:0	0.58	14.51	n.d.	0.13	0.03	0.09
Tridecanoic acid, C13:0	-	-	-	-	0.02	0.03
Myristic acid C14:0	1.68	5.42	n.d.	0.12	2.00	8.80
Pentadecanoic acid, C15:0	0.21	0.10	0.04	n.d.	0.44	0.39
Palmitic acid, C16:0	19.95	10.41	2.42	1.21	12.93	15.71
Heptadecanoic acid, C17:0	0.24	0.13	0.06	0.02	0.54	0.32
Stearic acid, C18:0	5.31	2.76	0.51	0.17	3.07	3.00
Arachidic acid, C20:0	0.11	0.19	0.06	n.d.	0.17	0.40
Heneicosanoic acid, C21:0	-	-	-	-	0.02	0.03
Behenic acid, C22:0	n.d.	0.05	0.03	n.d.	0.06	0.10
Tricosanoic acid, C23:0	0.04	0.02	-	-	0.02	0.03
Lignoseric acid, C24:0	0.02	n.d.	0.03	n.d.	0.01	n.d.
Total SFA	**28.16**	**37.99**	**3.15**	**1.67**	**19.31**	**28.90**
Myristoleic acid, C14:1	0.06	n.d.	-	-	0.05	0.03
Palmitoleic acid, C16:1	5.61	0.71	0.64	0.28	2.55	9.76
Elaidic acid, C18:1n9t	n.d.	0.10	0.04	n.d.	0.10	0.07
Oleic acid, C18:1n9c	32.22	28.25	7.58	2.68	11.18	7.78
Cis-11-eicosenoic acid C20:1	0.34	0.17	n.d.	0.21	1.96	0.23
Erusic acid, C22:1n9	0.07	n.d.	0.34	n.d.	0.24	0.04
Nervonic acid, C24:1	0.04	0.30	0.30	n.d.	0.46	0.08
Total MUFA	**38.34**	**29.53**	**8.90**	**3.17**	**16.54**	**17.99**
Linolelaidic acid, 18:2n9t	-	-	-	-	0.02	0.04
Linoleic acid, C18:2n6c	7.77	4.27	0.10	0.04	0.74	0.79
ϒ-linolenic acid, C18:3n6	0.10	n.d.	0.96	n.d.	0.04	0.28
Linolenic acid, C18:3n3	0.56	0.32	n.d.	0.21	0.32	0.39
Cis-11,14-eicosedienoic acid, C20:2	0.22	0.09	0.04	n.d.	0.24	0.07
Cis-13,16-docosadienoic acid,C22:2	-	-	0.10	n.d.	0.05	0.04
Cis-8,11,14-eicosetrienoic acid, C20:3n6	0.30	0.04	-	-	0.07	0.23
Cis-11,14,17-eicosetrienoic acid, C20:3n3	0.04	0.02	n.d.	0.07	0.22	0.02
Arachidonic acid, C20:4n6	0.64	0.11	0.14	0.05	0.92	2.00
EPA, C20:5n3	0.19	0.06	n.d.	0.05	7.81	14.36
DHA, C22:6n3	0.42	0.16	0.48	0.28	24.56	4.60
Total PUFA	**10.24**	**5.07**	**1.82**	**0.70**	**34.99**	**22.82**
Total Fatty Acid	**76.74**	**72.59**	**13.87**	**5.54**	**70.84**	**69.71**

ที่มา: Spielmann et al. (2014)

สาหร่าย *Schizochytrium* sp.

Schizochytrium sp. เป็นจุลินทรีย์น้ำเค็มกลุ่ม Marine thraustochytrids พบแพร่กระจายบริเวณผิวหน้าของสาหร่ายที่เจริญเติบโตในแหล่งน้ำกร่อย น้ำทะเล และในดินเค็ม สามารถแยกจุลินทรีย์ น้ำเค็มได้จากผิวหน้าของสาหร่ายและพืชที่เจริญเติบโตตามตะกอนดินทั่วไปในป่าชายเลน Kamlangdee and Fan (2003) พบว่า *Schizochytrium* sp. มีการเจริญเติบโตที่รวดเร็วและมีอัตราส่วนของ DHA ในไขมันสูงมากกว่า 35% ของกรดไขมันทั้งหมด *Schizochytrium* sp. เป็นผู้ผลิตปฐมภูมิมีคุณสมบัติพิเศษในการสะสมกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงในเซลล์สูง ซึ่งส่วนใหญ่เป็น HUFA ในกลุ่มโอเมก้า 3 พวก DHA (Yongmanitchai et al., 2007) ปัจจุบันได้มีงานวิจัยเกี่ยวกับสาหร่ายชนิดนี้โดยมุ่งเน้นไปในทางการผลิต DHA กันมากขึ้น ได้ศึกษาการน้ำสาหร่ายชนิดนี้จากป่าชายเลนประเทศไทยมาทำการเพาะเลี้ยงและสามารถนำมาสกัด DHA ที่มีปริมาณสูง จนถือได้ว่าเป็นแหล่งกรดไขมันโอเมก้า-3 ที่มีศักยภาพในการผลิตทางอุตสาหกรรม สาหร่ายเซลล์เดียวมีศักยภาพสูง เนื่องจาก การเจริญเติบโตที่รวดเร็ว ปริมาณไขมันที่สะสมในเซลล์สู.และมีสัดส่วนของ DHA ในไขมันสูงมากกว่า 35% ของกรดไขมันทั้งหมด นอกจากนี้ยังมีการเจริญเติบโตสูงในแหล่งอาหารที่ไม่มีความซับซ้อน การผลิตสามารถทำได้ตลอดปีไม่ขึ้นอยู่กับฤดูกาลและสภาพภูมิประเทศ สำหรับประเทศไทยมีสาหร่ายเซลล์เดียวชนิดนี้สามารถพัฒนาการเพาะเลี้ยงไปสู่การผลิต DHA ทางการค้าได้ (กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, 2552)



ภาพที่ 6 *Schizochytrium sp.*

ที่มา: Robert (2011)

อาหารอินทรีย์

อาหารออร์แกนิก (Organic food) หรืออาหารเกษตรอินทรีย์ หมายถึง อาหารที่ได้จาผลิตผลทางการเกษตรที่ไม่ใช้วัตถุอันตรายทางการเกษตร (Pesticides) เช่น ปุ๋ยเคมี ยาปราบศัตรูพืช การฉายรังสี (Food irradiation) และไม่ใช้สายพันธุ์ที่ตัดต่อพันธุกรรม การปศุสัตว์แบบออร์แกนิกจะต้องเลี้ยงด้วยอาหารสัตว์ชนิดออร์แกนิกด้วยเช่นกัน ห้ามเจือปนอาหารจากแหล่งอื่น และห้ามใช้ยาปฏิชีวนะ อาหารออร์แกนิกจะมีราคาแพงกว่าอาหารทั่วไป ข้อดีของอาหารออร์แกนิก คือ ทำให้ผู้บริโภคแน่ใจได้ว่าปลอดจากอันตรายทางเคมี (Chemical hazard) โดยเฉพาะจากวัตถุอันตรายทางการเกษตร (Pesticides) ซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลายในผักและผลไม้แทบทุกชนิด แต่ต้องมีข้อกำหนดการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ตามหลักการ Good Agricultural Practice (GAP) เพื่อจะได้ไม่เกิดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ก่อโรค (Pathogen) เช่น *Escherichia coli* ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่อาศัยอยู่ในลำไส้ของสัตว์เลือดอุ่น ที่มักพบได้ในปุ๋ยคอก (พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา, 2561)

USDA กำหนดว่า คำว่า "Organic" จะใช้ได้เฉพาะกับสินค้าเกษตร (รวมถึงสัตว์น้ำที่จับจากแหล่งธรรมชาติและที่มาจากการเพาะเลี้ยง และอาหารสำหรับเลี้ยงปศุสัตว์) ทั้งที่เป็นวัตถุดิบและที่ผ่านกระบวนการแล้ว ทั้งนี้รวมถึงผลิตภัณฑ์เกษตรที่นำมาใช้ในลักษณะที่เป็นเครื่องปรุง (Ingredient) ที่ได้รับการผลิตและการจัดการเป็นไปตามกฎระเบียบ USDA ที่กำหนดไว้ว่าแล้วเท่านั้น คือ

1. เนื้อสัตว์ เนื้อสัตว์ปีก และไข่ มาจากสัตว์ที่ไม่ได้ถูกให้ฮอร์โมนช่วยในการเติบโตหรือยาปฏิชีวนะต่าง ๆ ยกเว้นการให้อาหารเสริมประเภท วิตามิน หรือแร่ธาตุ ได้รับการเลี้ยงดูด้วยอาหารสัตว์ที่เป็น "Organic" และอยู่ในสภาพที่สัตว์มีเสรีภาพในการเคลื่อนที่ไปไหน ๆ ได้อย่างเป็นอิสระ

2. เป็นสินค้าที่ไม่ผ่านการตกแต่งแก้ไขทางพันธุกรรมหรือการฆ่าเชื้อโรคโดยการฉายรังสีอาหาร

3. เป็นธัญพืชที่ได้รับการปลูกบนผืนดินที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยเคมี หรือปุ๋ยที่เป็นมูลสัตว์ การรักษาสภาพของดินกระทำโดยการเปลี่ยนชนิดของธัญพืชที่ปลูก ปลูกพืชคลุมดิน หรือการใช้ปุ๋ยที่มาจากพืชและสัตว์

4. ศัตรูพืชและโรคพืชได้รับการรักษาโดยการใช้แมลงที่เป็นศัตรูพืชของแมลงที่กำลังทำอันตรายต่อพืช หรือการดักจับ การใช้วิธีทางธรรมชาติในการขับไล่ หรือวิธีอื่นๆ ที่ไม่ใช่สารเคมี

5. สสารที่มนุษย์ประดิษฐ์ขึ้นที่สามารถนำมาใช้ได้ในการผลิตพืชผลหรือการเลี้ยงสัตว์ที่เป็น Organic เช่น Alcohol, Ethanol, Calcium Hypochlorite, Chlorine dioxide, Sodium hypochlorite, Hydrogen peroxide, Elemental sulfur, Lime sulfur และ Sulfur

dioxide เป็นต้น ทั้งนี้จะมีการกำหนดไว้ว่าสารชนิดใดใช้กับการผลิตสินค้าประเภทใดหรือใช้ในลักษณะใด

6. การกำจัดวัชพืชกระทำได้ด้วยวิธีการพรวนดิน ใช้มือเก็บ ใช้เครื่องมือ หรือการคลุมดิน และไม่ใช้สารเคมี

7. ไม่มีการผสมสาร Sulfites, nitrate หรือ nitrite ในระหว่างกระบวนการผลิตหรือจัดการ ทั้งนี้ยกเว้นไวน์ที่มีการผสม Sulfites อาจจะระบุบนฉลากได้ว่า "Made with organic grapes"

8. ไม่มีการใช้เครื่องปรุงชนิดเดียวกัน แต่ในรูปที่ต่างกันคือทั้งที่เป็น Organic และไม่ได้เป็น organic

ผลิตภัณฑ์ออร์แกนิกอาจมีส่วนผสมที่ไม่ใช่ออร์แกนิกได้ไม่เกิน 5% ถ้ามีส่วนประกอบที่เป็นออร์แกนิกเพียง 70-95% ผลิตภัณฑ์นั้นห้ามติดฉลากว่าเป็นผลิตภัณฑ์ออร์แกนิกโดยเด็ดขาด แต่สามารถระบุปริมาณส่วนประกอบออร์แกนิกบนฉลากได้ (ในประเทศไทยมีสำนักงานมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ เป็นหน่วยงานตรวจสอบและรับรองผลิตภัณฑ์เกษตรอินทรีย์ตามมาตรฐานสากล นอกจากนี้ยังมีเครือข่ายตลาดนัดสีเขียวที่ส่งเสริมการผลิตและการบริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์)

มาตรฐานเกษตรอินทรีย์ มกท. (สำนักงานมาตรฐานเกษตรอินทรีย์, 2560) เป็นมาตรฐานที่จัดทำขึ้นโดยคณะอนุกรรมการมาตรฐาน ของ มกท. ตามแนวทางมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ขั้นพื้นฐานของสหพันธ์เกษตรอินทรีย์นานาชาติ (International Federation of Organic Agriculture Movements หรือ IFOAM) โดยการรับรองของสมัชชาสมาชิก มกท. มาตั้งแต่ พ.ศ. 2542 และต่อมามีการแก้ไขปรับปรุงอีกหลายครั้ง ปัจจุบัน มกท. มีมาตรฐานครอบคลุมในเรื่องการผลิตพืชอินทรีย์ การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวและการแปรรูปผลิตภัณฑ์อินทรีย์ การเก็บผลิตผลจากธรรมชาติ การผลิตปัจจัยการผลิตเพื่อการค้า การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอินทรีย์ รายการอาหารอินทรีย์ การเลี้ยงสัตว์ และการเลี้ยงผึ้ง ซึ่งทำให้ มกท. สามารถให้บริการตรวจสอบและรับรองผลิตภัณฑ์อินทรีย์ได้ในทุกขั้นตอนตั้งแต่การผลิตในระดับฟาร์ม การนำผลิตผลจากฟาร์มมาแปรรูปในโรงงาน และจำหน่ายเป็นผลิตภัณฑ์แปรรูป

หลักการและความมุ่งหมายในการผลิตและการแปรรูปเกษตรอินทรีย์ (Principles and aims of organic farming & processing) เกษตรอินทรีย์ หมายรวมถึง เกษตรธรรมชาติ และเกษตรนิเวศ ด้วย มีหลักการและความมุ่งหมายที่สำคัญดังนี้

• พัฒนาระบบการผลิตไปสู่แนวทางเกษตรผสมผสานที่มีความหลากหลายของพืชและสัตว์

• พัฒนาระบบการผลิตที่พึ่งพาตนเองในเรื่องของอินทรียวัตถุและธาตุอาหารภายในฟาร์ม

• ฟื้นฟูและรักษาความอุดมสมบูรณ์ของทรัพยากรธรรมชาติ โดยใช้ทรัพยากรในฟาร์มมาหมุนเวียนใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

• รักษาความสมดุลของระบบนิเวศในฟาร์มและและความยั่งยืนของระบบนิเวศโดยรวม

• ป้องกันและหลีกเลี่ยงการปฏิบัติที่ทำให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม

• สนับสนุนระบบการผลิตและกระบวนการจัดการทุกขั้นตอน ที่คำนึงถึงหลักมนุษยธรรม

• ยึดหลักการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวและการแปรรูปที่เป็นวิธีการธรรมชาติ ประหยัดพลังงาน และส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอินทรีย์ (Organic aquaculture production)

ขอบเขต มาตรฐานการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอินทรีย์ครอบคลุมสัตว์น้ำชนิดต่าง ๆ ทั้งในน้ำจืด น้ำกร่อย และน้ำเค็ม และทั้งที่เป็นสัตว์กินพืช สัตว์กินเนื้อ และสัตว์ที่กินทั้งพืชและเนื้อ การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอินทรีย์สามารถทำได้ทั้งในระบบเปิด หรือในแหล่งน้ำที่มีน้ำไหลเวียนตามธรรมชาติ เช่น การเลี้ยงในกระชัง เป็นต้น และในระบบปิด เช่น บ่อดิน บ่อปูน เป็นต้น

มาตรฐานทั่วไปสาหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอินทรีย์ (General standards for organic aquaculture production)

1. การปรับเปลี่ยนระบบการบริหารจัดการฟาร์มเข้าสู่ระบบเกษตรอินทรีย์ เป็นการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอย่างยั่งยืน และมีมาตรการในการอนุรักษ์และฟื้นฟูสิ่งแวดล้อม

2. สถานที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (Location of production units) ต้องเป็นสถานที่ที่เหมาะสมกับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำนั้น และไม่เป็นสถานที่ที่มีความอ่อนไหวทางนิเวศวิทยา รวมทั้งเป็นพื้นที่ที่ห่างจากแหล่งมลพิษที่จะเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำและผู้บริโภค

3. การจัดการฟาร์มโดยรวม (General farm management)

- ระบบการเพาะเลี้ยงต้องพิจารณาถึงความต้องการด้านพฤติกรรมและวิถีชีวิตของสัตว์น้ำนั้น แนวทางการจัดการฟาร์มจะต้องให้ความสำคัญกับการสร้างความแข็งแรงและสุขอนามัยที่ดีของสัตว์น้ำ

- ระบบการเพาะเลี้ยงต้องไม่สร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม รวมทั้งหลีกเลี่ยงในการทำอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตที่อยู่บริเวณใกล้เคียง รวมทั้งสัตว์ที่กินสัตว์น้ำนั้นเป็นอาหาร

- ผู้ผลิตต้องพัฒนาระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำอย่างยั่งยืน โดยทำการผลิตในพื้นที่เดิมอย่างต่อเนื่อง และต้องจัดทำแผนการจัดการฟาร์มและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนตามรายละเอียดที่กำหนดไว้

ในมาตรฐานนี้ ในกรณีที่ในพื้นที่มีผู้ผลิตหลายรายรวมกลุ่มกันเพื่อผลิตสัตว์น้ำอินทรีย์ ผู้ผลิตในกลุ่มต้องจัดทำแผนการจัดการฟาร์มอย่างยั่งยืนร่วมกันให้เป็นนโยบายของกลุ่ม

4. สุขอนามัยและสภาพความเป็นอยู่ของสัตว์น้ำ (Health and welfare)

- วิธีการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่สร้างสุขอนามัยที่ดี จะทาให้สัตว์น้ำมีความแข็งแรง มีภูมิต้านทานต่อโรคและการติดเชื้อต่าง ๆ

- การรักษาโรคและการบาดเจ็บของสัตว์ จะต้องเลือกวิธีการที่ดีต่อสุขอนามัย โดยพยายามเลือกใช้วิธีธรรมชาติ หรือสารที่ได้จากธรรมชาติก่อนเป็นสำคัญ

5. พันธุ์สัตว์น้ำและการผสมพันธุ์ (Breeds and breeding)

- การเพาะเลี้ยงควรเลือกพันธุ์สัตว์น้ำที่เป็นพันธุ์พื้นถิ่น

- การผสมพันธุ์พ่อแม่พันธุ์ควรเป็นวิธีธรรมชาติ และมีการแทรกแซงจากมนุษย์น้อยที่สุดและพันธุ์สัตว์น้ำที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงควรเป็นพันธุ์ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงแบบเกษตรอินทรีย์

6. อาหาร (Feeding)

- สัตว์น้ำควรได้อาหารที่มีความสมดุลทางโภชนาการ ตามความต้องการของสัตว์น้ำนั้นๆ

- วัตถุดิบที่เป็นอาหารสัตว์น้ำต้องเป็นอาหารที่ไม่เหมาะสมต่อการบริโภคของมนุษย์ เพื่อไม่ให้เกิดการแย่งอาหารระหว่างมนุษย์กับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

- การให้อาหารสัตว์น้ำต้องคำนึงถึงพฤติกรรมการกินของสัตว์น้ำตามธรรมชาติ และมีการป้องกันไม่ให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

7. การจับ การทำให้ตาย และการขนส่งสัตว์น้ำ (Harvesting, slaughter and transportation)

- ไม่สร้างความเครียด หรือทำให้สัตว์น้ำบาดเจ็บ ขณะจับ คัด และขนส่ง

- พยายามลดการทำให้สัตว์น้ำเครียด หรือทรมานก่อนที่จะตาย

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Azim and Little (2008) ทำการศึกษาเทคโนโลยีไบโอฟลอค Biofloc Technology (BFT) โดยวิเคราะห์คุณภาพน้ำ องค์ประกอบของไบโอฟลอค และการเจริญเติบโตและอัตรารอดของปลานิล (*Oreochromis niloticus*) ทำการทดลองในถังน้ำขนาด 250 ลิตร ที่อยู่ในร่ม โดยให้อาหารที่มีโปรตีน 35 % และ โปรตีน 24% ให้อากาศโดยใช้หัวเป่ากระจายลมตลอดเวลา ให้อาหารปลานิล 1.5% ของน้ำหนักปลา มีการเติมแป้งสาลีเข้ามาในถังไบโอฟลอคโดยเติมไปเพื่อรักษาที่เหมาะสมของอัตราส่วนของ C: N ที่ระดับ 15:1 ระดับของแข็งแขวนลอย 500 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าอัตรารอดของปลา 100% ผลผลิตปลาในถังไบโอฟลอค สูงกว่าในถังควบคุม อย่างไรก็ตามในเชิงพาณิชย์ระบบไบโอฟลอคยังมีข้อบกพร่อง จึงต้องมีการออกแบบและเปลี่ยนแปลงระบบเพื่อที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและการใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีนี้ให้มากยิ่งขึ้น

Widanarni et al. (2012) ทำการศึกษาของการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีไบโอฟลอคต่อคุณภาพน้ำและผลผลิตของปลานิลแดง *Oreochromis* sp. ที่ความหนาแน่นต่างกัน ซึ่งมีการเลี้ยงในอัตราความหนาแน่นของปลานิลแดง 3 รูปแบบ ได้แก่ 25 , 50 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร และ 100 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร และแต่ละความหนาแน่นมีชุดควบคุม (ไม่มีการเติมคาร์บอน) น้ำหนักปลาเฉลี่ยเริ่มต้น 77.89 ± 3.71 กรัม เลี้ยงในถังคอนกรีตขนาด 3 ตารางเมตร เป็นเวลา 14 สัปดาห์ เติมกากน้ำตาลลงในชุดการทดลองไบโอฟลอค เพื่อเป็นแหล่งคาร์บอนอินทรีย์ในอัตราส่วน C : N เท่ากับ 15:1. การควบคุมการทดสอบความหนาแน่นแต่ละครั้งแสดงให้เห็นว่าพารามิเตอร์คุณภาพน้ำมีความผันผวนมากขึ้นตลอดระยะทดลอง ปริมาณแอมโมเนียทั้งหมดและไนไตรท์-ไนโตรเจน สูงสุดพบในการทดลองที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่นของปลา 100 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร (ปริมาณแอมโมเนียทั้งหมด 3.97 mg/l และ ไนไตรท์-ไนโตรเจน 9.29 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ) ผลผลิตสูงที่สุดคือ 43.50 กิโลกรัม ส่วนการรอดตายสูงสุดพบในชุดทดลองไบโอฟลอค ความหนาแน่น 25 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร (97.78 ± 0.77%) อาหารที่ใช้ในอาหารสูตรไบโอฟลอ มีค่าต่ำกว่าอาหารควบคุมโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ความหนาแน่น 50 ตัว ต่อลูกบาศก์เมตร ($P<0.05$) บ่งชี้ว่าไบโอฟลอคสามารถถนำมาใช้เลี้ยงปลาได้โดยใช้เป็นแหล่งอาหารอื่น ๆ

Crab et al. (2012) ศึกษาการใช้เทคโนโลยีไบโอฟลอค ได้พบว่า เทคโนโลยีไบโอฟลอค มีคุณสมบัติที่เป็นประโยชน์หลายอย่าง ตั้งแต่การควบคุมคุณภาพน้ำไปจนถึงการผลิตแหล่งอาหารและคุณลักษณะพิเศษบางอย่างที่สามารถเป็นไปได้ในการนำมาประยุกต์ใช้เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เทคโนโลยีไบโอฟลอคเสนอการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่เป็นสิ่งยั่งยืนในการจัดการปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมสังคมและเศรษฐกิจควบคู่ไปกับการเติบโตของทรัพยากรธรรมชาติ นักวิจัยและเกษตรกรนำไปใช้ในระบบ

เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในอนาคต แต่พื้นฐานของเทคโนโลยีต้องมีการพัฒนาปรับใช้และมีการวิจัยเพื่อพัฒนาซึ่งทำให้เทคนิคนี้เป็นหลักสำคัญของการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอย่างยั่งยืนในอนาคต

Long et al. (2015) ได้ทำการศึกษาผลกระทบของเทคโนโลยีไบโอฟลอค ต่อการเจริญเติบโตของเอนไซม์ย่อยอาหาร เลือด และการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันของพันธุกรรมที่ดีขึ้นในเพาะเลี้ยงปลานิล (*Oreochromis niloticus*) พบว่า การทดลอง 8 สัปดาห์ได้ดำเนินการในการตรวจสอบผลกระทบของเทคโนโลยีไบโอฟลอค ในการเจริญเติบโตกิจกรรมย่อยอาหาร เลือดและการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันของการปรับปรุงพันธุกรรมปลานิลที่เลี้ยงในฟาร์มในที่มีแสงจำกัด การทดลองประกอบด้วยชุดการทดลอง BFT และชุดควบคุมกลุ่มที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ กากน้ำตาลถูกเพิ่มลงในชุดการทดลอง BFT เพื่อสร้างคาร์บอน : ไนโตรเจน อัตราส่วนของ 15 : 3 ความหนาแน่นของปลา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตรในถังน้ำในร่มขนาด 500 ลิตร ความเข้มข้นของไนไตรท์และไนเตรทในชุดการทดลอง BFT ต่ำกว่าในชุดควบคุม อย่างมีนัยสำคัญ ความอยู่รอดของปลาเป็น 100% โปรตีน ไขมันและเถ้าของไบโอฟลอค เป็น 41.13%, 1.03% และ 6.07% ตามลำดับ ในขณะที่ไขมันของชุดการทดลอง BFT ปลาแสดงแนวโน้มมีเอนไซม์อะไมเลสและเอนไซม์ไลเปสเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ในการวิเคราะห์ทางโลหิตวิทยา (ในแง่ของเซลล์เม็ดเลือดขาวและเม็ดเลือดแดง โดยนับเม็ดเลือด และระดับฮีมาโตคริต) ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า เทคโนโลยีไบโอฟลอคสามารถปรับปรุงการเจริญเติบโตของเอนไซม์ย่อยอาหารและการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันของระบบการเลี้ยง GIFT

Santhana et al. (2018) กล่าวว่าเทคโนโลยีไบโอฟลอค สามารถใช้ประโยชน์จากของเสียไนโตรเจนในน้ำทิ้ง สามารถปรับปรุงคุณภาพน้ำได้ โดยทำการศึกษาการเจริญเติบโตของกุ้งขาวในระบบเพาะเลี้ยงในระบบไบโอฟลอคแบบหนาแน่น ในการทดลองในบ่อดินกลางแจ้งขนาด 0.12 ha. โดยใช้กากน้ำตาล ข้าวสาลี และน้ำตาลเป็นแหล่งคาร์บอน เป็น 3 ชุดการทดลอง มีความหนาแน่น 60 ตัว/ตารางเมตร. เป็นระยะเวลา 120 วัน เก็บตัวอย่างน้ำตะกอนและกุ้งขาวเป็นระยะ ๆ จากบ่อทั้งไบโอฟลอคและบ่อที่เลี้ยงปกติ วิเคราะห์พารามิเตอร์ทางกายภาพเคมี ปริมาณไนโตรเจน และปัจจัยการเจริญเติบโตต่าง ๆ ผลการทดลอง พบว่าปริมาณไนโตรเจนโดยเฉพาะแอมโมเนียรวมและไนไตรท์ พบว่าในบ่อไบโอฟลอคมีค่าลดลงมากกว่าบ่อควบคุม พบปริมาณไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากบ่อไบโอฟลอคต่ำกว่าบ่อควบคุมที่อย่างมีนัยสำคัญ อัตราการแลกเนื้อและการเจริญเติบโตของ *P. vannamei* พบได้ในบ่อไบโอฟลอคมีค่าดีที่สุด ส่งผลให้กุ้งในบ่อมีอัตรารอดสูงของจุลินทรีย์ที่พบใน ไบโอฟลอคจะกำจัดอนินทรีย์ไนโตรเจนที่เป็นพิษและเปลี่ยนเป็นโปรตีนที่เป็นประโยชน์ทำให้สามารถเลี้ยงกุ้ง ส่งผลดีต่อค่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อและลดการปล่อยของเสียไนโตรเจนออกสู่สภาพแวดล้อม

บัณฑิต และคณะ (2546) การศึกษาการเพิ่มระดับกรดไขมันกลุ่มโอเมก้า 3 ในปลานิล (*Oreochromis niloticus*) โดยการใช้น้ำมันปลาทูน่าที่ระดับต่าง ๆ กัน ทดลองในปลานิลขนาด

เริ่มต้นเฉลี่ย 105.73 ± 4.49 กรัม/ตัว ด้วยอาหารที่มีโปรตีน 30 ± 1.0 เปอร์เซ็นต์โปรตีน และพลังงานย่อยได้ 3100 ± 100 กิโลแคลอรี่/กิโลกรัม ที่ใช้น้ำมันปลาทูน่าที่ระดับ 0, 3, 6 และ 9 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 60 วัน พบว่าน้ำหนักเพิ่มต่อตัวต่อวันเท่ากับ 0.90 ± 0.38, 1.63 ± 0.30, 0.83± 0.13 และ 1.37 ± 0.25 กรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ โดยปลานิลที่ได้รับอาหารที่ใช้น้ำมันปลาทูน่าที่ระดับ3 และ 9 เปอร์เซ็นต์ มีการเจริญเติบโตดีกว่า ($p<0.05$) ปลานิล ในกลุ่มอื่น ๆ ส่วนอัตรารอด อัตราการกินอาหาร อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และประสิทธิภาพของโปรตีนมีค่าใกล้เคียงกันในทุกกลุ่มการทดลอง ($p>0.05$) การสะสมกรดไขมันในเนื้อปลานิลที่ได้รับอาหารที่ใช้น้ำมันปลาทูน่า ที่ระดับ 0, 3, 6 และ 9 เปอร์เซ็นต์ พบว่าปริมาณกรดไขมัน EPA มีค่า 0.14 ± 0.03,0.19 ± 0.04, 0.28± 0.04 และ 0.36±0.05 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ กรดไขมัน DHA มีค่า 2.93±0.06, 3.40 ± 0.24, 4.15 ± 0.25 และ 4.62 ± 0.13 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ซึ่งระดับการสะสมปริมาณกรดไขมัน EPA, DHA และกรดไขมันกลุ่มโอเมก้า 3 มีค่าเพิ่มขึ้น ($p<0.05$) ตามระดับการใช้น้ำมันปลาทูน่าที่เพิ่มขึ้นในอาหาร ในด้านการยอมรับผลิตภัณฑ์จากผู้บริโภคมีค่าใกล้เคียงกัน ($p>0.05$) ดังนั้นการใช้น้ำมันปลาทูน่าที่ระดับ 9 เปอร์เซ็นต์ในอาหารปลานิลให้ผลดีทั้งในแง่การเติบโตและการเพิ่มระดับกรดไขมันกลุ่มโอเมก้า 3 ในปลานิล

สุทิน และวิชิต (2557) ศึกษาปริมาณไขมันและองค์ประกอบกรดไขมันในอาหารต่อการเจริญเติบโตและการย่อยได้ของปลาโมง โดยใช้แหล่งไขมันจากพืชและสัตว์ชนิดต่าง ๆ ผสมในอาหารกำหนดให้มีไขมันในอาหาร 3 ระดับคือ 6.0, 9.0 และ 12.0 % และแต่ละระดับมีกรดไขมันที่จำเป็นผสม (Mix essential fatty acids) 3 ระดับคือ 1.0, 2.0 และ 4.0% ของไขมันทั้งหมด อาหารทดลองมีโปรตีน 25.33% ไขมัน 7.06-13.33% พลังงานที่ย่อยได้ทั้งหมด 388-414 kcal/100 กรัม สำหรับเลี้ยงปลาโมงเป็นเวลา 120 วัน ผลการทดลองพบว่าปริมาณไขมันและกรดไขมันที่จำเป็นในอาหารต่อการเจริญเติบโตของปลาโมง อาหารที่มีไขมัน 6-9 % ในสูตรอาหารและกรดไขมันที่จำเป็น 2-4 % ของไขมันทั้งหมด ทำให้การเจริญเติบโตโดยน้ำหนักของปลาโมงสูงกว่าอาหารที่มีไขมัน 12 % ในสูตรอาหาร ($p<0.05$) ประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์จากอาหาร อัตราการแลกเนื้อ และอัตรารอดของปลาโมงไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) ปริมาณของไขมันในอาหารต่อระดับโปรตีนในเนื้อปลาไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) แต่เกิดการสะสมไขมันในเนื้อปลาเพิ่มขึ้นซึ่งมีผลต่อการสะสมกรดไขมันที่จำเป็นในเนื้อปลาเพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณกรดไขมัน LOA, EPA และ DHA ในเนื้อปลาไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) ดังนั้นอาหารที่มีไขมัน 6-9 % ในสูตรอาหาร และกรดไขมันที่จำเป็น 2-4 % ของไขมันทั้งหมด เพียงพอต่อการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการย่อยได้ และการสะสมกรดไขมันที่จำเป็นในเนื้อปลาของปลาโมง

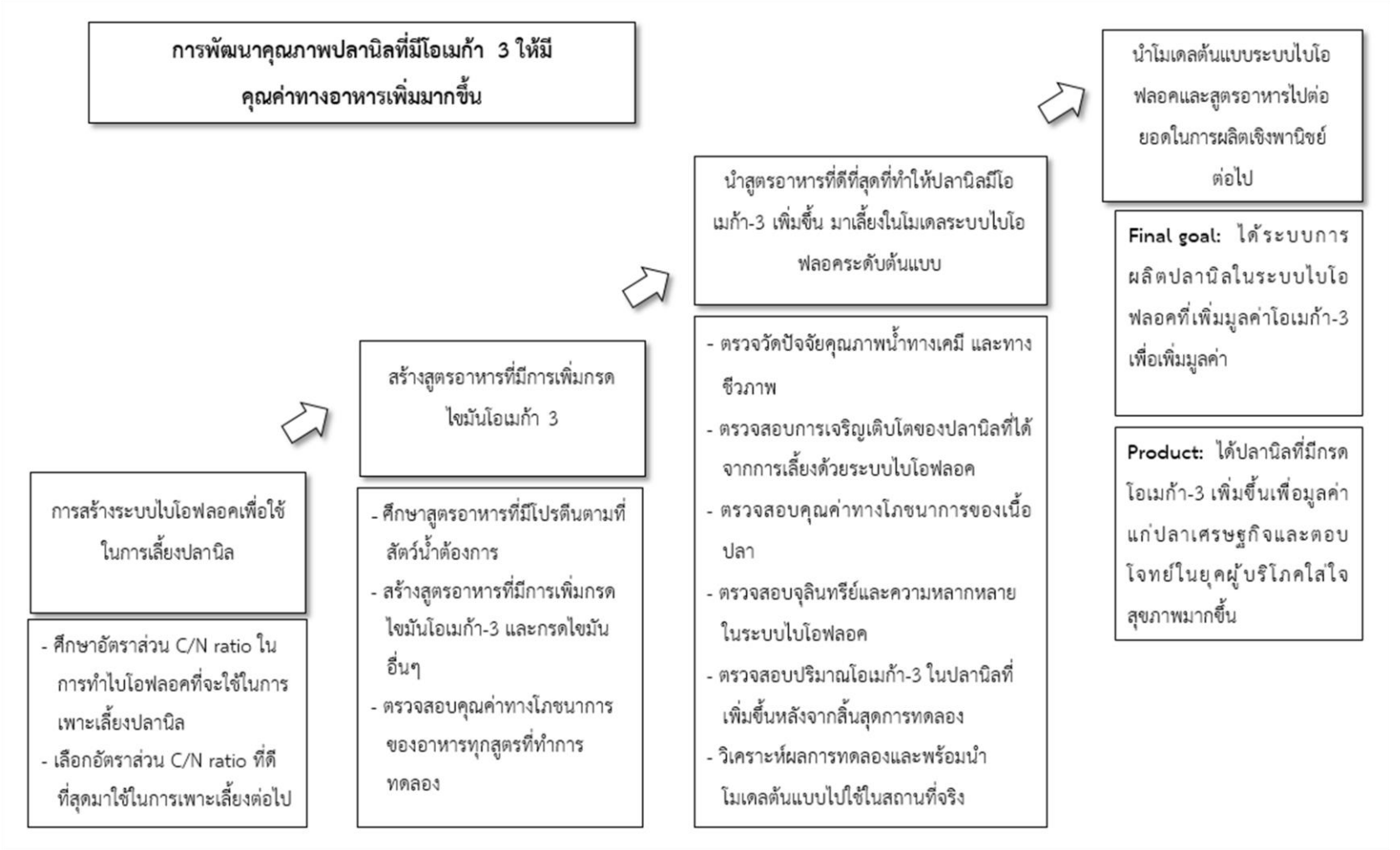
สุริยา และคณะ (2559) ทำการศึกษาการเสริมโอเมก้า-3 จากน้ำมันปลาทูน่าให้สะสมในเนื้อกุ้งฝอยและการเสริมภูมิต้านทานจากใบมะรุมผงเพื่อเพิ่มอัตราการรอดตายโดยการผสมน้ำมันปลาทูน่าและใบมะรุมผงในอัตราส่วนต่าง ๆ ลงในอาหารเลี้ยงกุ้งฝอยที่ ระยะคว่ำตัวอัตรา 150 ตัว/ปริมาตร

น้ำ10 ลิตร ในขวดโหลพลาสติกใสทรงกระบอกที่มีฝาปิดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 22 เซนติเมตร สูง 29 เซนติเมตร ความจุน้ำ 10 ลิตร แต่ละโหลใส่แผ่นหญ้าเทียมขนาด 24x24 ตารางเซนติเมตร จำนวน 1 แผ่น เพื่อเพิ่มพื้นที่ให้ลูกกุ้งเกาะ อาศัยและหลบซ่อนตัวโดยให้อาหารในอัตราที่กุ้งกินจนอิ่ม (*ad libitum*) วันละ 2 ครั้ง เป็นเวลา 75 วัน พบว่า การเลี้ยงกุ้งฝอยด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปผสมน้ำมันปลาทูน่าในอัตรา 0, 1, 2 และ 3 % มีปริมาณกรดไขมันอีพีเอและดีเอชเอสะสม อยู่ในเนื้อกุ้งฝอยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระดับของการเสริมน้ำมันปลาทูน่าที่ เพิ่มขึ้น โดยมีค่าปริมาณอีพีเอเท่ากับ 0.90±0.07, 0.90±0.04, 2.45±0.06 และ 2.60±0.04% ของปริมาณไขมันทั้งหมด ตามลำดับ และมีค่าปริมาณดีเอชเอเท่ากับ 0.90±0.09, 1.40±0.11, 1.40±0.11 และ 3.35±0.09% ของปริมาณไขมัน ทั้งหมด ตามลำดับ ส่วนค่าน้ำหนักรวม น้ำหนักเฉลี่ย จำนวนรอดตาย และอัตราการรอดตายไม่ต่างกัน สรุปผลจากการ ทดลองนี้ได้ว่าการเสริมโอเมก้า-3 จากน้ำมันปลาทูน่าในอาหารเลี้ยงกุ้งฝอยอัตรา 3% มีความเหมาะสมที่สุดโดยพิจารณา จากผลการสะสมกรดไขมันกลุ่มโอเมก้า-3 ในเนื้อกุ้งฝอยมีค่าสูงสุด ส่วนการทดลองเลี้ยงกุ้งฝอยด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูป ผสมใบมะรุมผงในอัตรา 0, 1, 2 และ 3 % พบว่า ค่าน้ำหนักรวม น้ำหนักเฉลี่ย จำนวนรอดตาย และอัตราการรอดตาย ของกุ้งฝอยทั้ง 4 ชุดการทดลองไม่ต่างกัน ($p>0.05$) สรุปผลจากการทดลองนี้ได้ว่าการผสมใบมะรุมผงลงในอาหารเลี้ยง กุ้งฝอยไม่มีผลกระทบต่ออัตราการรอดตายและอัตราการเจริญเติบโตของกุ้งฝอย

จูอะดี และคณะ (2553) และ กอบศักดิ์ และคณะ (2553) รายงานว่าการเสริม *Schzochytrium .limacinum* ในโรติเฟอร์ และไรน้ำเค็มที่ใช้อนุบาลปูม้า และปูทะเลระยะ Zoea 1 ถึงระยะ Crab 2 มีผลต่อพัฒนาการของตัวอ่อนปูม้า และปูทะเลทำให้การเปลี่ยนแปลงตัวอ่อนจากระยะหนึ่งเข้าสู่ตัวอ่อนอีกระยะหนึ่งได้เร็วขึ้นทั้งช่วยให้ลูกปูม้า และปูทะเลมีอัตราการรอดตาย ขนาดความกว้างกระดอง และน้ำหนักเฉลี่ยสูงขึ้น ซึ่งเช่นเดียวกับ กอบศักดิ์ และคณะ (2553) ได้ทดลองเปรียบเทียบการใช้ *S. limacinum* และน้ำมันปลา 50 ppm เสริมในอาหารมีชีวิตในการอนุบาลลูกปูม้า และลูกปูทะเล พบว่าการใช้ *S. limacinum* มีอัตราการรอดตายสูงกว่า

Ganuza et al. (2008) รายงานการใช้ *Schizochytrium* sp. ทดแทนน้ำมันปลาในอาหารลูกปลา Gilthead seabrem (*Sparus aurata*) พบว่าลูกปลาที่ได้รับอาหารผสม *Schizochytrium* sp. มีอัตราการรอดตาย การเจริญเติบโต ความต้านทานโรค และความทนทานต่อสภาพขาดอากาศได้ดีไม่แตกต่างจากลูกปลาที่ได้รับอาหารผสมน้ำมันปลา แสดงว่า *Schizochytrium* sp. สามารถใช้ทดแทนน้ำมันปลาได้

กรอบแนวคิดและสมมติฐานของการวิจัย



บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

วัสดุและอุปกรณ์

อุปกรณ์การเพาะเลี้ยงปลา

1. ตู้ปลากระจกขนาด 50 ลิตร
2. เครื่องให้อากาศ (Air pump)
3. หัวปล่อยลมออกซิเจน ขนาดกลาง
4. กระชอนตักปลา
5. ปลั๊กไฟสามทาง
6. บ่อพักปลาขนาด 200 ลิตร
7. บ่อซีเมนต์ขนาด 1.8 ตารางเมตร

อุปกรณ์ในการทำอาหารปลา

1. ถังน้ำขนาด2 ลิตร
2. กะละมังสำหรับผสมอาหาร
3. ถุงมือ
4. เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง

อุปกรณ์การวิเคราะห์หาลักษณะสมบัติของน้ำบางประการ

1. เครื่อง pH meter รุ่น pH510 ยี่ห้อ EUTECH INSTRUMENTS
2. เครื่องวัดค่าดูดกลืนแสง (Spectrophotometer) รุ่น SPECTRO SC และ Cuvette
3. เทอร์โมมิเตอร์
4. กระดาษกรอง ยี่ห้อ Whatman^{TM}, UK ขนาด 125 mm.
5. กระดาษกรอง GF/C^{TM} ยี่ห้อ Whatman^{TM}, UK ขนาด 47 mm.
6. ชุดกรองน้ำพร้องปั้มสุญญากาศ (Vacuum pump)
7. Imhoft cone
8. ตู้อบความร้อน ยี่ห้อ WTB binder รุ่น 15115300002020
9. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ METTLER TOLEDO รุ่น ME204
10. Hot plate ยี่ห้อ VELP SCINTIFICA
11. เครื่องวัด DO แบบอิเล็คโทรนิค (DO meter)

12. ชุดอุปกรณ์เครื่องแก้วพื้นฐานในห้องทดลอง
    - ขวดรูปชมพู่
    - ปิเปต
    - ลูกยางสามทาง
    - กรวยกรอง
    - กระบอกตวง
    - หลอดหยด (Dropper)
    - ขวดปรับปริมาตร
    - กรวยกรอง
    - หลอดทดลอง

อุปกรณ์วิเคราะห์หาคุณค่าทางโภชนาการของอาหารปลา

1. การวิเคราะห์โปรตีน (โดยวิธีของ Kjeldahl)
    - หลอดย่อยโปรตีน Kjeldahl flask
    - ขาตั้ง (Stand) และบิวเรท (Burette) สำหรับไตเตรตสารละลาย
    - ขวดปากแคบวัดปริมาตร (Erlenmeyer flask; ขวดชมพู่)
    - เครื่องย่อย (Digestion apparatus)
    - เครื่องกลั่น (Distillation apparatus)
    - น้ำกลั่น
    - กระบอกตวง (Cylinder)
    - ลูกแก้ว
2. การวิเคราะห์ไขมัน
    - อุปกรณ์ชุดสกัดไขมัน (Soxtherm) ประกอบด้วย บีกเกอร์ เครื่องควบคุมความร้อน และ เครื่องทำความเย็น (Cooling tower)
    - หลอดใส่ตัวอย่าง (Thimble)
    - สำลี
    - ตู้อบไฟฟ้า (Hot Air Oven)
    - โถดูดความชื้น (Desiccator)
3. การวิเคราะห์เยื่อใย
    - เครื่องสกัดเยื่อใย
    - เตาให้ความร้อน
    - เครื่องชั่ง

- ตู้อบไฟฟ้า
- โถดูดความชื้น
- Glass crucible

4. การวิเคราะห์เถ้า
   - ถ้วยกระเบื้องเคลือบ (Porcelain crucible)
   - เตาต้มร้อน (Hot plate)
   - เตาเผา (Muffle furnace)
   - โถดูดความชื้น
   - ตู้ดูดควันพิษ (Hood)
5. การวิเคราะห์ความชื้น
   - หลอดทดลอง
   - ถ้วยกระเบื้องเคลือบ (Porcelain crucible)
   - ตู้อบ (Hot air oven)
   - โถดูดความชื้น (Desiccator)
   - คีมคีบ

อุปกรณ์การวิเคราะห์ความหลากหลายและองค์ประกอบของฟลอค

1. ถุงกรองแพลงก์ตอน (Plankton net)
2. กล้องจุลทรรศน์แบบเลนส์ประกอบ ยี่ห้อ Nikon รุ่น 77407
3. หนังสือการจำแนกแพลงก์ตอน เช่น หนังสือจำแนกสาหร่ายน้ำจืดในประเทศไทย (ยุวดี, 2556; ลัดดา, 2538)

สารเคมี

1. สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์หาลักษณะสมบัติของน้ำ

- Oxidizing solution
- Rochelle salt solution (Sodium potassium tartrate tetrahydrate : $KNaC_4H_4O_6.4H_2O$)
- Phenate solution
- Diazotizing reagent
- Coupling reagent
- Copper sulfate

- ฟีนอล
- ไฮดราซีนซัลเฟต
- Ammonia molybdate solution
- Stannous chloride Solution
- Sulfuric acid (H_2SO4)
- Ammonium persulfate ($(NH_4)_2S_2O_8$)
- NaOH
- Acetone 90%
- Magnesium carbonate solution
- Phenolphthalein indicator

2. สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์หาคุณค่าทางโภชนาการของอาหารปลา

- สารเร่งปฏิกิริยา Sodium sulfate : copper sulfate อัตรา 20 : 1 หรือ
- Potassium sulfate : copper sulfate อัตรา 15 : 1
- Screened methyl red indicator
- NaOH (45%)
- H_2SO_4 เข้มข้น
- Hexane
- Acetone
- Antifoam

วิธีการดำเนินการ

การทดลองที่ 1 การทดลองย่อยเพื่อพัฒนาสูตรอาหารปกติ อาหารอินทรีย์และศึกษาการเจริญเติบโตของปลานิลที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอคในระดับห้องปฏิบัติการ โดยทำการวิจัยที่ คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ซึ่งมีรายละเอียดขั้นตอนดังนี้

1. เตรียมตู้ปลา ขนาดบรรจุ 50 ลิตร ให้อากาศตลอดการทดลอง โดยติดตั้งหัวทราย พร้อมเครื่องปั่นไฟอัตโนมัติสำรองไว้เสมอ

2. เติมหัวเชื้อไบโอฟลอค (ตะกอนดินจากบ่อปลานิล) สารโดโลไมท์ รำละเอียด (หรือคาร์โบไฮเดรตที่เหมาะสม) อาหารปลาแบบเม็ด และกากน้ำตาล ผสมทุกอย่างลงในน้ำประปา โดย

เดิมกากน้ำตาล (แหล่งคาร์บอน) ปริมาณ 3 มิลลิลิตรต่อวัน ควบคุมสัดส่วน C:N $\geq$ 15 พร้อมทำการเติมอากาศตลอดเวลา

3. สัตว์ทดลอง ใช้ลูกปลานิลที่ไม่ได้ให้ฮอร์โมนแปลงเพศ ขนาดความยาวประมาณ 3-4 นิ้ว โดยได้รับการสนับสนุนจาก บริษัท คิงฟิชกรุ๊ป จำกัด อำเภอสันป่าตอง จังหวัดเชียงใหม่ โดยนำลูกปลามาพักให้ปรับตัวในบ่อ ก่อนทำการสุ่มนับและชั่งน้ำหนักลูกปลาเริ่มต้นเพื่อปล่อยลงเลี้ยงในตู้กระจกที่ทำการทดลอง และให้อาหารด้วยอาหารสำเร็จรูปปลากินพืชโปรตีนรวมไม่น้อยกว่า 30% เป็นเวลา 7 วันเพื่อให้ปลาปรับสภาพ ก่อนเริ่มให้อาหารที่ทำทดลอง

4. คำนวณสูตรอาหาร 9 สูตรให้มีปริมาณโปรตีนรวมไม่น้อยกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ ไขมันรวมไม่น้อยกว่า 9 เปอร์เซ็นต์ ใช้อาหารเม็ดพื้นฐาน (Basal diet) เหมือนกันทุกสูตร และมีแหล่งของกรดไขมันและสัดส่วนของกรดไขมัน n-3 /n-6 ต่างกัน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 อาหารสูตรพื้นฐาน (น้ำมันถั่วเหลือง 100 เปอร์เซ็นต์)

ชุดการทดลองที่ 2 อาหารสูตรพื้นฐานผสมกับน้ำมันปลา 100 เปอร์เซ็นต์

ชุดการทดลองที่ 3 อาหารผสมกับน้ำมันหมูหรือไก่ 100 เปอร์เซ็นต์

ชุดการทดลองที่ 4 อาหารสูตรพื้นฐานผสมกับน้ำมันปลา : น้ำมันถั่วเหลืองในสัดส่วน 1:1

ชุดการทดลองที่ 5 อาหารผสมกับน้ำมันหมูหรือไก่ : น้ำมันถั่วเหลืองในสัดส่วน 1:1

ชุดการทดลองที่ 6 อาหารสูตรพื้นฐานผสมกับน้ำมันปลา : น้ำมันหมูหรือไก่ในสัดส่วน 1:1

ชุดการทดลองที่ 7 อาหารผสมกับสาหร่าย *Schizochytrium* sp.

ชุดการทดลองที่ 8 อาหารผสมกับสาหร่าย *Schizochytrium* sp. : น้ำมันถั่วเหลืองในสัดส่วน 1:2

ชุดการทดลองที่ 9 อาหารผสมกับสาหร่าย *Schizochytrium* sp. : น้ำมันถั่วเหลืองในสัดส่วน 2:1

5. หลังจากสร้างตะกอนไบโอฟลอคเป็นเวลา 1 สัปดาห์ ใส่ลูกปลานิลในอัตรา 50 ตัวต่อตารางเมตร วางแผนการทดลองแบบ CRD (Complete Randomized Design) โดยแบ่งการทดลองเป็น 6 ชุดการทดลอง ๆ ละ 3 ซ้ำ

6. ชุดการทดลองของอาหารทั้งหมดจะถูกนำมาปรับให้อยู่ภายใต้เงื่อนไขของการควบคุมอาหารสูตรน้ำมันปลาและสาหร่าย *Schizochytrium* sp. โดยช่วงแรกจะมีการให้อาหารสูตรปกติที่ไม่มีการผสมน้ำมันปลาและสาหร่าย *Schizochytrium* sp. เป็นระยะเวลา 45 วัน จากนั้นจึงเลี้ยงด้วยอาหารสูตรเพิ่มโอเมก้า 3 เป็นระยะเวลา 15 วันจนถึงสิ้นสุดการเลี้ยง ระยะเวลา 60 วัน

7. อัตราอาหารเม็ดที่ให้ตลอดการทดลอง 5 % ของน้ำหนักตัว/วัน วันละ 2 ครั้ง (09.00-10.00 น. และ 15.00-16.00 น.) ปรับปริมาณอาหารที่ให้ ตรวจวัดการเติบโตทุก 14 วัน ทำการการตรวจสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ของน้ำ ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิน้ำ พีเอช ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ปริมาณของแข็งระเหยได้ทั้งหมด ปริมาณสารที่สามารถตกตะกอนทั้งหมด ออกซิเจนละลายน้ำ Biochemical oxygen demand แอมโมเนีย ไนไตร์ท ไนเตรท ออร์โธฟอสเฟต ฟอสฟอรัสรวม และคลอโรฟิลล์ เอ โดยตรวจสอบคุณสมบัติของน้ำสัปดาห์ละ 2 ครั้ง เมื่อครบ 60 วัน จึงจับปลาเพื่อนำมาตรวจวัดคุณภาพและองค์ประกอบของเนื้อปลา

8.วิเคราะห์หาองค์ประกอบของสารอาหารรวมทั้งปริมาณกรดไขมัน ในอาหารทดลองและเนื้อปลา

9.การเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลด้านประสิทธิภาพและการเติบโต นับและชั่งน้ำหนักปลาในแต่ละบ่อ ทุก ๆ 14 วัน ตลอดการทดลองในแต่ละการทดลอง นำข้อมูลที่ได้ไปปรับปริมาณการให้อาหาร และคำนวณหาค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ อัตรารอด อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ เป็นต้น

10.วิเคราะห์ความหลากหลายและองค์ประกอบของฟลอค เก็บตัวอย่างฟลอคเพื่อศึกษาองค์ประกอบของสิ่งมีชีวิตภายในฟลอค โดยใช้ถุงกรองแพลงก์ตอน แล้วเก็บรักษาสภาพด้วย Lugal's solution หลังจากนั้นนำมาจัดจำแนกชนิด โดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบเลนส์ประกอบ

การทดลองที่ 2 เพื่อพัฒนาการเพาะเลี้ยงปลานิลเสริมโอเมก้า–3 เข้าสู่เชิงอินทรีย์ในระดับอุตสาหกรรมขนาดย่อม ซึ่งเป็นการทดลองโดยทำการวิจัยที่ คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ซึ่งมีรายละเอียดขั้นตอนดังนี้

1. เตรียมบ่อปูนซีเมนต์ ขนาดบรรจุน้ำ 1 ลูกบาศก์เมตร ให้อากาศตลอดการทดลอง โดยติดตั้งตัวปล่อยอากาศตลอดเวลา พร้อมเครื่องปั่นไฟอัตโนมัติสำรองไว้เสมอ

2. เตรียมหัวเติมหัวเชื้อไบโอฟลอค และส่วนผสมต่าง ๆ ตามการทดลองที่ 1

3. สัตว์ทดลอง ใช้ลูกปลานิลที่ไม่ได้ให้ฮอร์โมนแปลงเพศ ขนาดน้ำหนักประมาณ 100 กรัม จากบริษัท คิงฟิช กรุ๊ป จำกัด อำเภอสันป่าตอง จังหวัดเชียงใหม่ โดยจะปฏิบัติตามการทดลองที่ 1

4. การคำนวณสูตรอาหาร จะเลือกชุดการทดลองที่ดีที่สุดของการทดลองที่ 1 โดยปรับปริมาตรน้ำมันปลาและสาหร่ายที่ผสมในอาหาร เพื่อให้สะสมในเนื้อปลาในปริมาณที่เหมาะสม มาใช้ในการทดลองที่ 2

5. ชุดการทดลองของอาหารทั้งหมดจะถูกนำมาปรับให้อยู่ภายใต้เงื่อนไขของการควบคุมของสูตรอาหาร โดยเลี้ยงในบ่อที่บรรจุน้ำปริมาตร 1 ตารางเมตร โดยเลี้ยงด้วยอาหารสูตรเพิ่มโอเมก้า 3 จนสิ้นสุดการเลี้ยง เป็นระยะเวลา 120 วัน เติมกากน้ำตาล (แหล่งคาร์บอน) จำนวน 60 มิลลิลิตร

ทุกวัน ทำการตรวจสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ของน้ำ โดยตรวจสอบคุณสมบัติของน้ำทุก 14 วัน ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิน้ำ พีเอช ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ปริมาณของแข็งระเหยได้ทั้งหมด ปริมาณสารที่สามารถตกตะกอนทั้งหมด ออกซิเจนละลายน้ำ Biochemical oxygen demand Chemical oxygen demand แอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท ออร์โธฟอสเฟต ฟอสฟอรัสรวม และคลอโรฟิลล์ เอ

6. อัตราอาหารเม็ดที่ให้ตลอดการทดลอง 3 % ของน้ำหนักตัว/วัน วันละ 2 ครั้ง (09.00-10.00 น. และ 15.00-16.00 น.) ปรับปริมาณอาหารที่ให้ ตรวจวัดการเติบโต ทุก 14 วัน เมื่อครบ 120 วัน จึงจับปลาเพื่อนำมาตรวจวัดคุณภาพเนื้อและองค์ประกอบทางโภชนาการของเนื้อปลา

7. วิเคราะห์หาองค์ประกอบของสารอาหารรวมทั้งปริมาณกรดไขมัน ในอาหารทดลองและเนื้อปลา

8. การเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลด้านประสิทธิภาพและการเติบโต นับและชั่งน้ำหนักปลาในแต่ละบ่อ ทุก ๆ 14 วัน ตลอดการทดลองในแต่ละการทดลอง นำข้อมูลที่ได้ไปปรับปริมาณการให้อาหาร และคำนวณหาค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ อัตรารอด อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ เป็นต้น

9. วิเคราะห์ความหลากหลายและองค์ประกอบของฟลอคตามการทดลองที่ 1

10. คำนวณต้นทุนการผลิตปลานิลภายในระบบการผลิตโดยเทคโนโลยีไบโอฟลอค

ระยะเวลาในการวิจัยและสถานที่ดำเนินงาน

ระยะเวลา 1 ปี ตั้งแต่เดือนมกราคม 2561 ถึงเดือนธันวาคม 2561 สถานที่ดำเนินงาน ได้แก่ บริษัท คิงฟิช กรุ๊ป จำกัด อ.สันป่าตอง จ.เชียงใหม่ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ และ คณะเทคโนโลยีการประมงและ ทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

กิจกรรม	เดือนที่ 1-2	เดือนที่ 3-4	เดือนที่ 5-6	เดือนที่ 7-8	เดือนที่ 9-10	เดือนที่ 11-12
1. การสร้างระบบไบโอฟลอคเพื่อใช้ในการเลี้ยงปลานิล	↔	↔				
2. สร้างสูตรอาหารที่มีการเพิ่มกรดไขมันโอเมก้า-3		↔	↔			
3. นำสูตรอาหารที่มีการเพิ่มโอเมก้า-3 มาทดลอง			↔	↔		
4. นำสูตรอาหารที่ดี มาเลี้ยงในโมเดลระบบไบโอฟลอคระดับต้นแบบ				↔	↔	↔
5. นำโมเดลต้นแบบระบบไบโอฟลอคและสูตรอาหารไปใช้ในพื้นที่เป้าหมาย					↔	↔
6. พัฒนาต่อยอดผลิตภัณฑ์ปลานิลที่มีโอเมก้า-3 ออกสู่ท้องตลาด						↔

บทที่ 4
ผลการศึกษา

การศึกษาการเสริมโอเมก้า-3 เพื่อเพิ่มมูลค่าปลานิลอินทรีย์ในระบบไบโอฟลอค ได้แบ่งการทดลองเป็น 2 การทดลอง ดังนี้

การทดลองที่ 1

การทดลองที่ 1 การทดลองย่อยเพื่อพัฒนาสูตรอาหารที่เสริมด้วยกรดไขมันประเภทต่าง ๆ และศึกษาการเจริญเติบโตของปลานิลที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอคในระดับห้องปฏิบัติการ โดยการทดลองได้แบ่งชุดการทดลอง เป็น 9 ชุดการทดลอง

โดยในช่วงแรก แบ่งชุดการทดลองออกเป็น 6 ชุดการทดลอง ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 อาหารสูตรควบคุม น้ำมันถั่วเหลือง 100 เปอร์เซ็นต์ (Control)

ชุดการทดลองที่ 2 อาหารผสมกับน้ำมันปลา 100 เปอร์เซ็นต์ (FO)

ชุดการทดลองที่ 3 อาหารผสมกับน้ำมันหมู 100 เปอร์เซ็นต์ (LO)

ชุดการทดลองที่ 4 อาหารผสมกับน้ำมันปลา : น้ำมันถั่วเหลือง ในอัตราส่วน 1:1 (FO:SO)

ชุดการทดลองที่ 5 อาหารผสมกับน้ำมันหมู : น้ำมันถั่วเหลือง ในอัตราส่วน 1:1 (LO:SO)

ชุดการทดลองที่ 6 อาหารผสมกับน้ำมันปลา : น้ำมันหมู ในอัตราส่วน 1:1 (FO:LO)

โดยในช่วงที่สอง แบ่งชุดการทดลองออกเป็น 4 ชุดการทดลอง ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 7 อาหารผสมกับสาหร่าย *Schizochytrium* sp. 100 เปอร์เซ็นต์ (SC)

ชุดการทดลองที่ 8 อาหารผสมกับสาหร่าย *Schizochytrium* sp. : น้ำมันถั่วเหลือง ในอัตราส่วน 1:2 (SC:SO (1:2))

ชุดการทดลองที่ 9 อาหารผสมกับสาหร่าย *Schizochytrium* sp. : น้ำมันถั่วเหลือง ในอัตราส่วน 2:1 (SC:SO (2:1))

1.1 ผลการศึกษาระบบการเลี้ยงปลานิลด้วยไบโอฟลอคที่เสริมคุณค่าโอเมก้า-3 โดยการเสริมอาหารที่เป็นแหล่งของกรดไขมันโอเมก้า-3

จากการศึกษาระบบการเลี้ยงปลานิลด้วยไบโอฟลอคที่เสริมคุณค่าโอเมก้า-3 โดยการเสริมอาหารที่เป็นแหล่งของกรดไขมันโอเมก้า-3 โดยให้ให้อากาศตลอดการทดลอง โดยติดตั้งระบบหัวทราย เตรียมหัวเชื้อไบโอฟลอค (ตะกอนดินจากบ่อปลานิล) แคลเซียมแมกนีเซียมคาร์บอเนต ($CaMg(CO_3)_2$) รำละเอียด อาหารปลาแบบเม็ด และกากน้ำตาล ดังแสดงส่วนประกอบในตารางที่ 3 ผสมทุกอย่างลงในน้ำประปา โดยควบคุมสัดส่วน C:N $\geq$ 15 พร้อมทำการเติมอากาศตลอดเวลา โดยปริมาณฟลอค ก่อนเริ่มปล่อยปลาและเริ่มต้นเลี้ยงควรมีปริมาณฟลอค 10 มิลลิลิตรต่อลิตร/บ่อ ตู้ปลาขนาดบรรจุน้ำ 50 ลิตร ใช้ลูกพันธุ์ปลานิลจากบริษัท คิงฟิช กรุ๊ป จำกัด ขนาดเริ่มต้นประมาณตัวละ 30 กรัม อัตราอาหารเม็ดที่ให้ตลอดการทดลอง 5 % ของน้ำหนักตัว/วัน วันละ 2 ครั้ง (10.00 น. และ 16.00 น.) ปรับปริมาณอาหารที่ให้ ตรวจวัดการเติบโตทุก 2 สัปดาห์ ทำการเติมกากน้ำตาลเพื่อเป็นแหล่งคาร์บอน วันละ 3 มิลลิลิตร

ตารางที่ 3 ส่วนประกอบของการเตรียมหัวเชื้อไบโอฟลอค

ส่วนประกอบของหัวเชื้อไบโอฟลอค	**ต่อน้ำ 1 ลูกบาศก์เมตร**
ตะกอนดินจากบ่อปลานิล	100 กรัม
แคลเซียมแมกนีเซียมคาร์บอเนต ($CaMg(CO_3)_2$)	100 กรัม
รำละเอียด	200 กรัม
อาหารปลาแบบเม็ด แบบบดละเอียด	200 กรัม
กากน้ำตาล	400 กรัม

1.2 ผลการศึกษาการเปรียบเทียบปัจจัยด้านประสิทธิภาพและการเจริญเติบโต

จากการเปรียบเทียบปัจจัยด้านประสิทธิภาพและการเจริญเติบโตที่เลี้ยงภายใต้ระบบไบโอฟลอค โดยทำการนับและชั่งน้ำหนักปลาในแต่ละตู้ ทุก ๆ 14 วัน ตลอดการทดลองในแต่ละการทดลอง นำข้อมูลที่ได้ไปปรับปริมาณการให้อาหารและคำนวณค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ อัตรารอดและอัตราแลกเนื้อ (ตารางที่ 4-5) ได้นำข้อมูลไปวิเคราะห์ทางสถิติโดยวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อศึกษาความแตกต่างของแต่ละชุดการทดลอง จากนั้นเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทุกชุดการทดลองโดยวิธีของ Duncan ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$) โดยใช้

โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for windows 15.0 และทำกราฟโดยโปรแกรม Microsoft Excel ซึ่งได้ผลดังนี้

1.2.1 ชุดการทดลองช่วงแรก

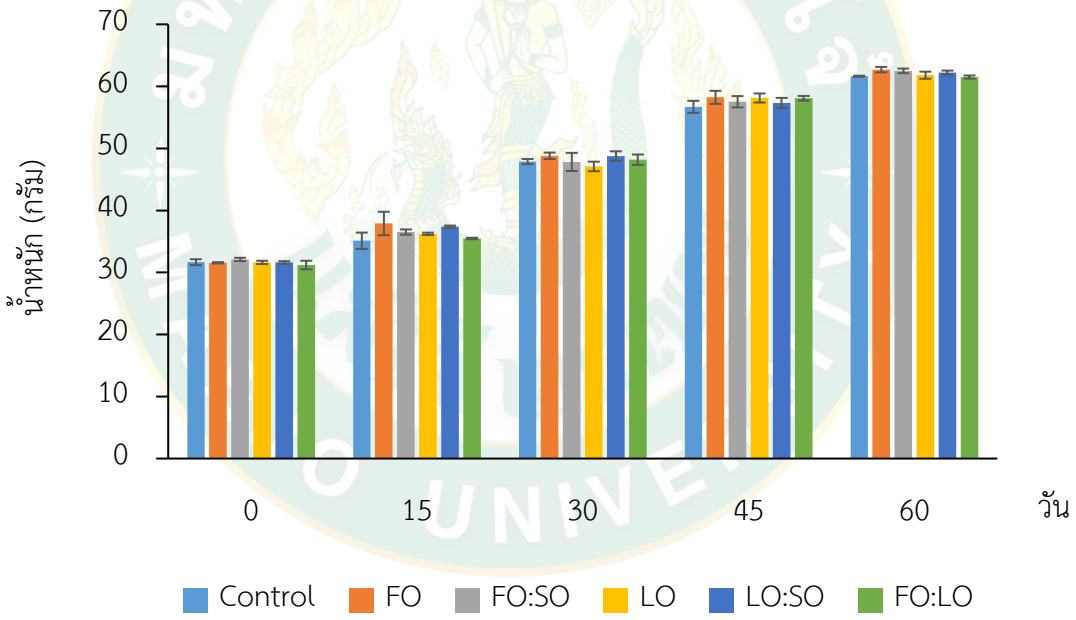
น้ำหนักเริ่มต้นของปลาที่ใช้ทดลองเริ่มต้น มีน้ำหนักประมาณ 30 กรัม เมื่อทำการเลี้ยงในระบบไบโอฟลอค โดยใช้สูตรอาหารที่แตกต่างกัน 6 สูตร คือ อาหารสูตรควบคุม (Control), อาหารสูตรน้ำมันปลา (FO), อาหารสูตรน้ำมันปลาผสมกับน้ำมันถั่วเหลือง อัตราส่วน 1:1 (FO:SO), อาหารสูตรน้ำมันหมู (LO), อาหารสูตรน้ำมันหมูผสมกับน้ำมันถั่วเหลือง อัตราส่วน 1:1 (LO:SO) และอาหารสูตรน้ำมันปลาผสมกับน้ำมันหมู อัตราส่วน 1:1 (FO:LO) เลี้ยงเป็นระยะเวลา 60 วัน พบว่าน้ำหนักสุดท้ายมีประมาณ 60 กรัม เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นไม่มีความแตกต่างกัน ระหว่าง 103.3-107.0 เปอร์เซ็นต์ พบว่าชุดการทดลอง FO มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นมากที่สุด (107.0 เปอร์เซ็นต์) ในอัตราการแลกเนื้อมีค่าระหว่าง 1.4-1.5 ส่วนการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน พบว่ามีค่าไม่แตกต่างกัน 0.5 กรัม/ตัว ในด้านอัตรารอด พบว่าปลานิลมีอัตรารอด 87-93 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางที่ 4 น้ำหนักเริ่มต้น น้ำหนักสุดท้าย อัตราการเจริญเติบโต อัตรารอดและอัตราแลกเนื้อ ที่เลี้ยงโดยระบบไบโอฟลอค ในช่วงแรกของการทดลอง ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 2 เดือน

	Control	FO	FO:SO	LO	LO:SO	FO:LO
น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม/ตัว)	30.3±0.27	30.2±0.05	30.5±0.15	30.3±0.15	30.2±0.13	30.0±0.39
น้ำหนักสุดท้าย (กรัม/ตัว)	61.6±0.06	62.7±0.12	62.1±0.20	61.6±0.34	61.9±0.17	61.8±0.13
น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (%)	103.3±0.42	107.0±0.35	103.6±0.29	103.3±0.15	104.9±0.45	106.0±0.32
อัตราการแลกเนื้อ	1.5±0.07	1.4±0.13	1.4±0.14	1.5±0.04	1.4±0.09	1.5±0.17
อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (กรัม/ตัว)	0.5±0.01	0.5±0.13	0.5±0.03	0.5±0.04	0.5±0.05	0.5±0.10
อัตรารอด (%)	87±6.67	93±6.67	93±6.67	93±6.67	87±6.67	87±6.67

อัตราการเจริญเติบโตของปลานิลที่เลี้ยงโดยระบบไบโอฟลอค ในช่วงแรกของการทดลองโดยมีสูตรอาหารที่ต่างกัน

การศึกษาการเสริมโอเมก้า-3 เพื่อเพิ่มมูลค่าปลานิลอินทรีย์ในระบบไบโอฟลอค โดยใช้อาหารสำเร็จรูป โปรตีนไม่ต่ำกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ และไขมันไม่ต่ำกว่า 9 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้สูตรอาหารที่แตกต่างกัน 6 สูตร คือ อาหารสูตรควบคุม (Control), อาหารสูตรน้ำมันปลา (FO), อาหารสูตรน้ำมันปลาผสมกับน้ำมันถั่วเหลือง อัตราส่วน 1:1 (FO:SO), อาหารสูตรน้ำมันหมู (LO), อาหารสูตรน้ำมันหมูผสมกับน้ำมันถั่วเหลือง อัตราส่วน 1:1 (LO:SO) และอาหารสูตรน้ำมันปลาผสมกับน้ำมันหมู (FO:LO) อัตราส่วน 1:1 เลี้ยงเป็นระยะเวลา 60 วัน อัตราอาหารเม็ดที่ให้ตลอดการทดลอง 5 % ของน้ำหนักตัว/วัน วันละ 2 ครั้ง (10.00 น. และ 16.00 น.) ปรับปริมาณอาหารที่ให้ ตรวจวัดการเติบโตทุก 2 สัปดาห์ (ภาพที่ 7 และตารางที่ 4) พบว่าปลานิลที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอค มีน้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ยที่ 61.6±0.06, 62.7±0.12, 62.1±0.20, 61.6±0.34, 61.9±0.17 และ 61.8±0.13 กรัมต่อตัว ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ค่าทางสถิติ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) โดยน้ำหนักของปลานิลชุดการทดลอง FO จะมีอัตราการเจริญเติบโตได้ดีกว่าในทุกชุดการทดลอง



ภาพที่ 7 การเจริญเติบโตของปลานิลที่เลี้ยงโดยระบบไบโอฟลอค ในช่วงแรกของการทดลอง โดยมีสูตรอาหารที่ต่างกัน ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 60 วัน

1.2.2. ชุดการทดลองช่วงที่สอง

น้ำหนักเริ่มต้นของปลาที่ใช้ทดลองเริ่มต้น มีน้ำหนักประมาณ 30 กรัม เมื่อทำการเลี้ยงในระบบไบโอฟลอค โดยใช้สูตรอาหารที่แตกต่างกัน 4 สูตร คือ อาหารสูตรควบคุม (Control), อาหาร

ผสมกับสาหร่าย *Schizochytrium* sp. (SC), อาหารผสมกับสาหร่าย *Schizochytrium* sp. : น้ำมันถั่วเหลือง ในอัตราส่วน 1:2 (SC:SO (1:2)) และ อาหารผสมกับสาหร่าย *Schizochytrium* sp. : น้ำมันถั่วเหลือง ในอัตราส่วน 2:1 (SC:SO (2:1)) เลี้ยงเป็นระยะเวลา 60 วัน พบว่า น้ำหนักสุดท้ายมีประมาณ 60 กรัม ซึ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) พบว่าชุดการทดลอง SC มีน้ำหนักสุดท้ายมากที่สุด (64.9 กรัม) เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นไม่มีความแตกต่างกัน ระหว่าง 102.2-103.04 เปอร์เซ็นต์ ในอัตราการแลกเนื้อมีค่าระหว่าง 1.5-1.6 ส่วนการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน พบว่ามีค่าไม่แตกต่างกัน 0.6 กรัม/ตัว ในด้านอัตรารอด พบว่าปลานิลมีอัตรารอด 87-93 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางที่ 5 น้ำหนักเริ่มต้น น้ำหนักสุดท้าย อัตราการเจริญเติบโต อัตรารอดและอัตราแลกเนื้อของปลานิลที่เลี้ยงโดยระบบไบโอฟลอค ในช่วงที่สองของการทดลอง ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 2 เดือน

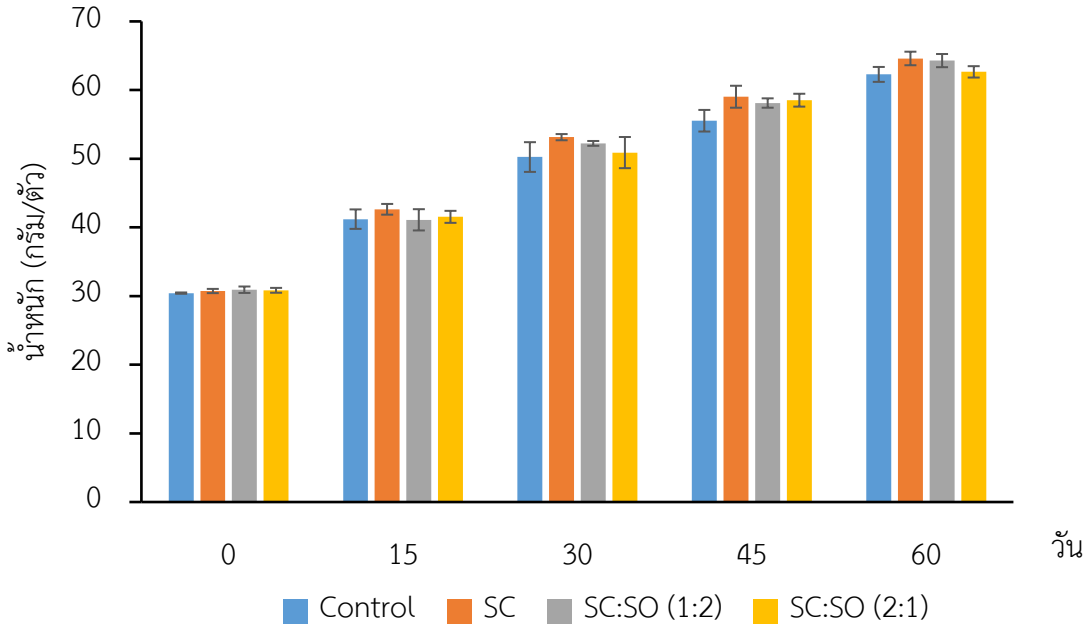
	Control	SC	SC:SO (1:2)	SC:SO (2:1)
น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม/ตัว)	30.4±0.05	30.8±0.17	30.9±0.27	30.7±0.20
ค่าเฉลี่ยน้ำหนักสุดท้าย (กรัม/ตัว)	62.3±0.60^{a}	64.9±0.48^{c}	64.3±0.56^{bc}	62.7±0.58^{ab}
น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (%)	102.4±0.32	103.4±0.21	102.2±0.22	103.3±0.21
อัตราการแลกเนื้อ	1.6±0.05	1.6±0.05	1.5±0.08	1.5±0.04
อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (กรัม/ตัว)	0.6 ±0.01	0.6±0.01	0.6±0.01	0.6±0.02
อัตรารอด (%)	87±6.67	87±6.67	93±6.67	93±6.67

หมายเหตุ : อักษรภาษาอังกฤษที่ใช้ในแนวนอนแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($p<0.05$)

อัตราการเจริญเติบโตของปลานิลที่เลี้ยงโดยระบบไบโอฟลอค ในช่วงที่สองของการทดลอง โดยมีสูตรอาหารที่ต่างกัน

การศึกษาการเสริมโอเมก้า-3 เพื่อเพิ่มมูลค่าปลานิลอินทรีย์ในระบบไบโอฟลอค โดยใช้อาหารสำเร็จรูป โปรตีนไม่ต่ำกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ และไขมันไม่ต่ำกว่า 9 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้สูตรอาหารที่แตกต่างกัน 4 สูตร คือ อาหารสูตรควบคุม (Control), อาหารผสมกับสาหร่าย *Schizochytrium* sp. (SC), อาหารผสมกับสาหร่าย *Schizochytrium* sp. : น้ำมันถั่วเหลือง ในอัตราส่วน 1:2 (SC:SO (1:2)) และ อาหารผสมกับสาหร่าย *Schizochytrium* sp. : น้ำมันถั่วเหลือง ในอัตราส่วน 2:1 (SC:SO (2:1)) เลี้ยงเป็นระยะเวลา 60 วัน อัตราอาหารเม็ดที่ให้ตลอดการทดลอง 5 % ของน้ำหนัก

ตัว วันละ 2 ครั้ง (10.00 น. และ 16.00 น.) ปรับปริมาณอาหารที่ให้ ตรวจวัดการเติบโตทุก 2 สัปดาห์ (ภาพที่ 8 และตารางที่ 5) พบว่าปลานิลที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอค มีน้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ยที่ 62.3±0.60, 64.9±0.48, 64.3±0.56 และ 62.7±0.58 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ค่าทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) โดยน้ำหนักของปลานิลชุดการทดลอง SC จะมีอัตราการเจริญเติบโตได้ดีกว่าในทุกชุดการทดลอง รองลงมาเป็นชุดการทดลอง SC:SO (1:2) , SC:SO (2:1) และ Control ตามลำดับ



ภาพที่ 8 การเจริญเติบโตของปลานิลที่เลี้ยงโดยระบบไบโอฟลอค ในช่วงที่สองของการทดลอง โดยมีสูตรอาหารที่ต่างกัน ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 60 วัน

1.3 ผลการศึกษาปัจจัยด้านคุณสมบัติต่าง ๆ ของน้ำ

การศึกษาด้านคุณสมบัติต่าง ๆ ของน้ำในบ่อเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค ที่เลี้ยงในอาหารสูตรต่างกัน โดยใช้สูตรอาหารที่แตกต่างกัน 9 สูตร ในช่วงแรกและช่วงที่สอง คือ อาหารสูตรควบคุม (Control), อาหารสูตรน้ำมันปลา (FO), อาหารสูตรน้ำมันปลาผสมกับน้ำมันถั่วเหลือง (FO : SO), อาหารสูตรน้ำมันหมู (LO), อาหารสูตรน้ำมันหมูผสมกับน้ำมันถั่วเหลือง (LO : SO), อาหารสูตรน้ำมันปลาผสมกับน้ำมันหมู (FO : LO), อาหารผสมกับสาหร่าย *Schizochytrium* sp. (SC), อาหารผสมกับสาหร่าย *Schizochytrium* sp.: น้ำมันถั่วเหลือง ในสัดส่วน 1:2 (SC : SO (1:2)) และ อาหารผสมกับสาหร่าย *Schizochytrium* sp.: น้ำมันถั่วเหลือง ในสัดส่วน 2:1 (SC : SO (2:1)) เลี้ยงเป็นระยะเวลา 60 วัน โดยทำการวัดสัปดาห์ละ 2 ครั้ง (13.00-14.00 น.) (ตารางที่ 6) พบว่า ค่าอุณหภูมิ

น้ำ อยู่ระหว่าง 21.1-25.3 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรดด่าง-ด่าง ระหว่าง 6.8-8.7 ค่าออกซิเจนละลายน้ำไม่ต่ำกว่า 5 มิลลิกรัม/ลิตร แอมโมเนีย ไนโตรเจนค่าไม่เกิน 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ไนไตรท์ไนโตรเจน ระหว่าง 2.0-4.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าไนเตรท ไนโตรเจน ระหว่าง 0.5- 2.8 มิลลิกรัมต่อลิตร และฟอสเฟตฟอสฟอรัส มีค่าระหว่าง 0.1-2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยคุณภาพน้ำที่ทำการวิเคราะห์อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและคุณภาพน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด (ตารางที่ 7)

ตารางที่ 6 คุณภาพน้ำบางประการในระบบไบโอฟลอคในการทดลองชุดแรกและชุดที่สอง ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 60 วัน

คุณภาพน้ำบางประการ	Control	FO	FO:SO	LO	LO:SO	FO:LO
อุณหภูมิน้ำ (°C)	22.0 – 25.3	21.1 – 25.1	22.0 – 25.0	22.0 – 25.2	21.5 – 25.1	21.4 – 25.2
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	6.8– 7.1	6.8– 7.1	6.8– 7.1	6.9– 7.2	6.9– 7.1	6.9– 7.2
ออกซิเจนละลายน้ำ	5.4– 8.8	5.3– 8.8	5.4– 8.5	5.4– 8.5	5.3– 8.4	5.3– 8.3
แอมโมเนีย ไนโตรเจน (mg/l)	0.1– 0.2	0.1– 0.2	0.1– 0.3	0.1– 0.2	0.1– 0.2	0.1– 0.2
ไนไตรท์ ไนโตรเจน (mg/l)	2.0– 4.0	2.0– 4.3	2.0 – 3.5	2.0 – 4.1	2.0 – 4.2	2.0 – 4.0
ไนเตรท ไนโตรเจน (mg/l)	0.5 – 1.7	0.5 – 1.7	0.7 – 1.9	0.70 – 1.8	0.7 – 1.7	0.7 – 1.7
ฟอสเฟตฟอสฟอรัส (mg/l)	0.1 – 1.0	0.1 – 0.9	0.1 – 1.0	0.1 – 0.9	0.1 – 0.9	0.1 – 0.8

ตารางที่ 6 คุณภาพน้ำบางประการในระบบไบโอฟลอคในการทดลองชุดที่สอง ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 60 วัน (ต่อ)

คุณภาพน้ำบางประการ	Control	SC	SC:SO (1:2)	SC:SO (2:1)
อุณหภูมิน้ำ (°C)	26.0 – 33.3	25.0 – 33.5	26.0 – 33.4	25.9 – 33.2
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	6.4 – 8.9	6.3 – 8.7	6.3 - 8.5	6.3 - 8.7
ออกซิเจนละลายน้ำ	7.0 - 8.4	7.2 - 8.5	7.0 – 8.5	7.3 – 8.5
แอมโมเนีย ไนโตรเจน (mg/l)	0.1 – 0.3	0.1 – 0.2	0.1 – 0.2	0.1 – 0.2
ไนไตรท์ ไนโตรเจน (mg/l)	2.0 – 4.5	1.9 – 4.1	2.0 – 3.7	2.0 – 4.6
ไนเตรท ไนโตรเจน (mg/l)	0.7 – 2.7	0.5 – 2.0	0.6 - 1.9	0.7 – 2.8
ฟอสเฟตฟอสฟอรัส (mg/l)	0.1 – 2.0	0.1 – 0.9	0.1 – 2.0	0.1 – 1.9

ตารางที่ 7 ค่ามาตรฐานของคุณภาพน้ำที่มีความสำคัญในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

ปัจจัยคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน	อ้างอิง
อุณหภูมิน้ำ	28-32 ^{o}C	กรมควบคุมมลพิษ (2542)
ปริมาณสารที่สามารถตกตะกอนทั้งหมด	ไม่มากกว่า 30 mg/l	กรมประมง (2555)
ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด	20-25 mg/l	กรมประมง (2555)
ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ	ไม่ควรน้อยกว่า 5 mg/l	กรมควบคุมมลพิษ (2542)
ค่าความเป็นกรด - ด่าง	6.24-8.76	กรมประมง (2555)
แอมโมเนีย ไนโตรเจน	ไม่เกิน 0.5 mg/l	กรมประมง (2555)
ไนไตรท์ ไนโตรเจน	ไม่เกิน 0.3 mg/l	กรมประมง (2555)
ไนเตรท ไนโตรเจน	ไม่เกิน 5.0 mg/l	กรมประมง (2555)
BOD	ไม่เกิน 20 mg/l	กรมประมง (2555)
ฟอสเฟต ฟอสฟอรัส	ไม่น้อยกว่า 0.5 mg/l	กรมควบคุมมลพิษ (2542)

1.4 ปัจจัยด้านองค์ประกอบทางโภชนาการของสารอาหารรวมทั้งปริมาณกรดไขมัน

1.4.1 คุณค่าทางโภชนาการของอาหารปลา

ผลการศึกษาด้านองค์ประกอบทางโภชนาการของอาหารที่เสริมกรดไขมันโอเมก้า-3 ในระบบไบโอฟลอค ในการทดลองช่วงแรกใช้อาหารสำเร็จรูปที่มีการเพิ่มน้ำมันซึ่งเป็นแหล่งของกรดไขมันโอเมก้า-3 มีโปรตีนไม่ต่ำกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ และไขมันไม่ต่ำกว่า 9 เปอร์เซ็นต์ เลี้ยงเป็นระยะเวลา 60 วัน อัตราอาหารเม็ดที่ให้ตลอดการทดลอง 5 % ของน้ำหนักตัว จากนั้นนำเอาอาหารที่ใช้ในการทดลองไปตรวจสอบองค์ประกอบของคุณค่าทางโภชนาการของอาหารในแต่ละสูตรในตารางที่ 8 ตามสูตรอาหาร 6 สูตร คืออาหารสูตรควบคุม (Control), อาหารสูตรน้ำมันปลา (FO) อาหารสูตรน้ำมันปลาผสมกับน้ำมันถั่วเหลือง อัตราส่วน 1:1 (FO:SO), อาหารสูตรน้ำมันหมู (LO) อาหารสูตรน้ำมันหมูผสมกับน้ำมันถั่วเหลือง อัตราส่วน 1:1 (LO:SO) และอาหารสูตรน้ำมันปลาผสมกับน้ำมันหมู อัตราส่วน 1:1 (FO:LO) มีเปอร์เซ็นต์โปรตีน 30.44±0.00, 30.45±0.01, 30.47±0.01, 30.45±0.01, 30.47±0.01 และ 30.43±0.01 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ซึ่งตรงตามเปอร์เซ็นต์โปรตีนที่ได้กำหนดไว้ข้างต้นว่าอาหารต้องมีโปรตีนไม่ต่ำกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ไขมันในการทดลอง มีค่า 9.25±0.00, 9.30±0.00, 9.26±0.00, 9.24±0.01, 9.28±0.01 และ 9.27±0.01 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ตรงตามที่ได้กำหนดข้างต้นว่า ไขมันต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 9 เปอร์เซ็นต์ เถ้า มีค่า 7.53±0.01, 7.55±0.01, 7.57±0.01, 7.58±0.01, 7.59±0.01, 7.54±0.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เถ้า ในการทดลองชุด LO และ LO:SO มีค่าสูงมากที่สุด

ซึ่งอาจบ่งบอกได้ว่าน้ำมันหมูที่ใส่ลงไปในอาหารมีสารอนินทรีย์มาก เยื่อใย มีค่า 8.58±0.01, 8.60±0.01, 8.57±0.01, 8.53±0.00, 8.53±0.00 และ 8.56±0.01 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) พบว่าในอาหารสูตร FO มีเปอร์เซ็นต์เยื่อใยมากที่สุด ความชื้น มีค่า 5.27±0.00, 5.30±0.01, 5.27±0.01, 5.28±0.01, 5.24±0.01 และ 5.27±0.01 ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) อาหารสูตร FO มีค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นมากที่สุด และ เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนฟรีเอกซ์แทรก (NFE) มีค่า 38.94±0.01, 38.77±0.01, 38.80±0.01, 38.81±0.01, 38.89±0.01 และ 38.83±0.00 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) อาหารสูตร Control มีค่าเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนฟรีเอกซ์แทรกมากที่สุด

ตารางที่ 8 คุณค่าทางโภชนาการของอาหารที่ใช้ทดลอง ในการทดลองชุดแรก

อาหาร	Control	FO	FO:SO	LO	LO:SO	FO:LO
โปรตีน	30.44±0.00	30.45±0.01	30.47±0.01	30.45±0.01	30.47±0.01	30.44±0.01
ไขมัน	9.25±0.00	9.30±0.00	9.26±0.00	9.24±0.01	9.28±0.01	9.27±0.01
เถ้า	7.53±0.01^{a}	7.55±0.01^{a}	7.57±0.01^{ab}	7.58±0.01^{ab}	7.59±0.01^{b}	7.54±0.00^{a}
เยื่อใย	8.58±0.01^{b}	8.60±0.01^{b}	8.57±0.01^{b}	8.53±0.00^{a}	8.53±0.00^{a}	8.56±0.01^{b}
ความชื้น	5.27±0.00^{ab}	5.30±0.01^{b}	5.27±0.01^{ab}	5.28±0.01^{b}	5.24±0.01^{a}	5.27±0.01^{ab}
NFE	38.94±0.01^{b}	38.77±0.01^{a}	38.80±0.01^{a}	38.81±0.01^{a}	38.89±0.01^{a}	38.83±0.00^{a}

หมายเหตุ : อักษรภาษาอังกฤษที่ใช้ในแนวนอนแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($p<0.05$)

ในการทดลองช่วงที่สอง ใช้อาหารสำเร็จรูปที่มีการเพิ่มน้ำมันซึ่งเป็นแหล่งของกรดไขมันโอเมก้า 3 มี โปรตีนไม่ต่ำกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ และไขมันไม่ต่ำกว่า 9 เปอร์เซ็นต์ เลี้ยงเป็นระยะเวลา 60 วัน อัตราอาหารเม็ดที่ให้ตลอดการทดลอง 5 % ของน้ำหนักตัว จากนั้นนำเอาอาหารที่ใช้ในการทดลองไปตรวจสอบองค์ประกอบของคุณค่าทางโภชนาการของอาหารในแต่ละสูตร ในตารางที่ 9 ตามสูตรอาหาร 4 สูตร คืออาหารสูตรควบคุม (Control), อาหารผสมกับสาหร่าย *Schizochytrium* sp. (SC), อาหารผสมกับสาหร่าย *Schizochytrium* sp.: น้ำมันถั่วเหลือง ในอัตราส่วน 1:2 (SC: SO (1:2)) และ อาหารผสมกับสาหร่าย *Schizochytrium* sp.: น้ำมันถั่วเหลือง ในอัตราส่วน 2:1 (SC: SO (2:1)) พบว่า เปอร์เซ็นต์โปรตีน มีค่าตามที่กำหนดไว้ โปรตีนไม่ต่ำกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 30.35±0.01, 30.34±0.00, 30.37±0.01 และ 30.38±0.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เปอร์เซ็นต์ไขมัน มีค่า 9.76±0.01, 9.74±0.00, 9.74±0.02 และ 9.76±0.02 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สอดคล้องกับค่าที่กำหนดเปอร์เซ็นต์ไขมันต้องไม่

น้อยกว่า 9 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เถ้า มีค่า 7.58±0.00, 7.62±0.00, 7.56±0.00 และ 7.60±0.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) พบว่าอาหารสูตร SC มีค่าเปอร์เซ็นต์เถ้าสูงที่สุด เยื่อใย มีค่า 8.66±0.00, 8.61±0.00, 8.52±0.00 และ 8.54±0.00 เปอร์เซ็นต์ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ความชื้น มีค่า 5.40±0.00, 5.63±0.00, 5.60±0.01 และ 5.56±0.02 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และ เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนฟรีเอกซ์แทรก (NFE) มีค่า 38.24±0.02, 38.04±0.01, 38.19±0.02 และ 38.07±0.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 9 คุณค่าทางโภชนาการของอาหารที่ใช้ทดลอง ในการทดลองชุดที่สอง

อาหาร	Control	SC	SC:SO (1:2)	SC:SO (2:1)
โปรตีน	30.35±0.01	30.34±0.00	30.37±0.01	30.38±0.00
ไขมัน	9.76±0.01	9.74±0.00	9.74±0.02	9.76±0.02
เถ้า	7.58±0.00^{a}	7.62±0.00^{b}	7.56±0.00^{a}	7.60±0.00^{b}
เยื่อใย	8.66±0.00^{a}	8.61±0.00^{b}	8.52±0.00^{c}	8.54±0.00^{d}
ความชื้น	5.40±0.00^{a}	5.63±0.00^{c}	5.60±0.01^{b}	5.56±0.02^{c}
NFE	38.24±0.02^{b}	38.04±0.01^{a}	38.19±0.02^{b}	38.07±0.00^{a}

หมายเหตุ : อักษรภาษาอังกฤษที่ใช้ในแนวนอนแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($p<0.05$)

1.4.2 คุณค่าทางโภชนาการของเนื้อปลาหลังจากการเสริมกรดโอเมก้า-3

ผลการศึกษาด้านองค์ประกอบทางโภชนาการของเนื้อปลาที่เสริมกรดไขมันโอเมก้า-3 ที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอค ในการทดลองช่วงแรก ใช้อาหารสำเร็จรูปที่มีการเพิ่มน้ำมันซึ่งเป็นแหล่งของกรดไขมันโอเมก้า-3 มี โปรตีนไม่ต่ำกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ และไขมันไม่ต่ำกว่า 9 เปอร์เซ็นต์ อัตราอาหารเม็ดที่ให้ตลอดการทดลอง 5 % ของน้ำหนักตัว เลี้ยงเป็นระยะเวลา 60 วัน โดยมีการเสริมน้ำมันในอาหาร 15 วัน ก่อนการจับ จากนั้นนำเนื้อปลาไปตรวจสอบองค์ประกอบของคุณค่าทางโภชนาการในเนื้อปลาที่เลี้ยงในอาหารแต่ละสูตร 6 สูตร คืออาหารสูตรควบคุม (Control), อาหารสูตรน้ำมันปลา (FO) อาหารสูตรน้ำมันปลาผสมกับน้ำมันถั่วเหลือง อัตราส่วน 1:1 (FO:SO), อาหารสูตรน้ำมันหมู (LO) อาหารสูตรน้ำมันหมูผสมกับน้ำมันถั่วเหลือง อัตราส่วน 1:1 (LO:SO) และอาหารสูตรน้ำมันปลาผสมกับน้ำมันหมู อัตราส่วน 1:1 (FO:LO) จากการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของเนื้อปลา (ตารางที่ 10) พบว่า เนื้อปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร FO:LO มีเปอร์เซ็นต์โปรตีนในเนื้อปลา

สูงที่สุด (53.84±0.60) เปอร์เซ็นต์ไขมันอาหารสูตร FO มีเปอร์เซ็นต์ไขมันในเนื้อสูงที่สุด (10.37±0.16) เปอร์เซ็นต์เถ้า ในชุดการทดลอง LO, LO:SO และ FO:LO มีค่าสูงที่สุด (6.31±0.03, 6.28±0.03 และ 6.24±0.00) เปอร์เซ็นต์เยื่อใย พบว่า ชุดการทดลอง Control มีค่าสูงที่สุด (15.75±0.37) เช่นเดียวกับเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนฟรีเอกซ์แทรก (NFE) ที่พบว่ามีค่าสูงสุดในชุดการทดลอง Control (17.20±1.03) ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 10 คุณค่าทางโภชนาการของเนื้อปลานิลที่เสริมกรดไขมันโอเมก้า-3 ที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอค ในการทดลองชุดแรก

เนื้อปลา	Control	FO	FO:SO	LO	LO:SO	FO:LO
โปรตีน	51.77±0.04^{a}	52.65±0.33^{a}	52.70±0.04^{a}	53.70±0.60^{b}	52.48±0.03^{a}	53.84±0.60^{b}
ไขมัน	6.51±0.05^{b}	10.37±0.16^{e}	6.04±0.09^{b}	4.65±0.07^{a}	7.75±0.09^{c}	8.60±0.03^{d}
เถ้า	4.69±0.04^{a}	5.42±0.10^{b}	5.62±0.00^{b}	6.31±0.03^{c}	6.28±0.03^{c}	6.24±0.00^{c}
เยื่อใย	15.75±0.37^{b}	15.06±0.27^{ab}	14.81±0.33^{a}	14.58±0.04^{a}	15.52±0.11^{ab}	14.41±0.12^{a}
NFE	17.20±1.03^{b}	11.17±0.59^{a}	15.27±0.10^{b}	15.56±0.61^{b}	11.69±0.05^{a}	11.30±0.64^{a}

หมายเหตุ : อักษรภาษาอังกฤษที่ใช้ในแนวนอนแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($p<0.05$)

การทดลองชุดที่สอง ใช้อาหารสำเร็จรูปที่มีการแสริมสาหร่ายซึ่งเป็นแหล่งของกรดไขมันโอเมก้า 3 มี โปรตีนไม่ต่ำกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ และไขมันไม่ต่ำกว่า 9 เปอร์เซ็นต์ อัตราอาหารเม็ดที่ให้ตลอดการทดลอง 5 % ของน้ำหนักตัว เลี้ยงเป็นระยะเวลา 60 วัน โดยมีการเสริมสาหร่ายในอาหาร 15 วัน ก่อนการจับ จากนั้นนำเนื้อปลาไปตรวจสอบองค์ประกอบของคุณค่าทางโภชนาการในเนื้อปลาที่เลี้ยงในอาหารแต่ละสูตร 4 สูตร คือ อาหารสูตรควบคุม (Control), อาหารผสมกับสาหร่าย *Schizochytrium* sp. (SC), อาหารผสมกับสาหร่าย *Schizochytrium* sp.: น้ำมันถั่วเหลือง ในอัตราส่วน 1:2 (SC: SO (1:2)) และ อาหารผสมกับสาหร่าย *Schizochytrium* sp.: น้ำมันถั่วเหลือง ในอัตราส่วน 2:1 (SC: SO (2:1)) พบว่า เปอร์เซ็นต์โปรตีนในชุดการทดลอง SC: SO (1:2) มีค่าสูงที่สุด (53.25±0.03) เปอร์เซ็นต์ไขมัน ในชุดการทดลอง SC มีค่าสูงที่สุด (10.18±0.04) เปอร์เซ็นต์เถ้า พบว่า ในชุดการทดลอง SC มีค่าสูงที่สุด (6.27±0.01) ในส่วนของเปอร์เซ็นต์เยื่อใยนั้น พบว่า ในชุดการทดลอง Control มีค่าสูงที่สุด (15.59±0.00) และ เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (ตารางที่ 11)

ตารางที่ 11 คุณค่าทางโภชนาการของเนื้อปลานิลที่เสริมกรดไขมันโอเมก้า-3 ที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอค ในการทดลองชุดที่สอง

อาหาร	Control	SC	SC:SO (1:2)	SC:SO (2:1)
โปรตีน	53.20±0.01^{b}	52.51±0.30^{a}	53.25±0.03^{b}	52.84±0.00^{a}
ไขมัน	6.60±0.00^{a}	10.18±0.04^{d}	8.64±0.01^{b}	9.15±0.01^{c}
เถ้า	4.92±0.00^{a}	6.27±0.01^{c}	5.21±0.00^{b}	5.20±0.00^{b}
เยื่อใย	15.59±0.00^{d}	14.83±0.00^{c}	14.36±0.00^{b}	14.29±0.00^{a}
NFE	14.78±0.04^{c}	10.44±0.07^{a}	13.22±0.06^{b}	13.34±0.03^{b}

หมายเหตุ : อักษรภาษาอังกฤษที่ใช้ในแนวนอนแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($p<0.05$)

1.4.3 ปริมาณกรดไขมันของอาหารปลาและเนื้อปลาที่เสริมด้วยกรดไขมันโอเมก้า-3

ผลการศึกษาปริมาณกรดไขมันของอาหารปลาและเนื้อปลาที่เสริมด้วยกรดไขมันโอเมก้า-3 ในชุดการทดลองแรก ใช้อาหารสำเร็จรูปที่มีการเพิ่มน้ำมันซึ่งเป็นแหล่งของกรดไขมันโอเมก้า-3 มีโปรตีนไม่ต่ำกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ และไขมันไม่ต่ำกว่า 9 เปอร์เซ็นต์ อัตราอาหารเม็ดที่ให้ตลอดการทดลอง 5 % ของน้ำหนักตัว เลี้ยงเป็นระยะเวลา 60 วัน โดยมีการเสริมน้ำมันในอาหาร 15 วัน ก่อนการจับ หลังจากนั้นนำอาหารและเนื้อปลาไปทำการวิเคราะห์กรดไขมัน แต่ละสูตร 6 สูตร คืออาหารสูตรควบคุม (Control), อาหารสูตรน้ำมันปลา (FO) อาหารสูตรน้ำมันปลาผสมกับน้ำมันถั่วเหลือง อัตราส่วน 1:1 (FO:SO), อาหารสูตรน้ำมันหมู (LO) อาหารสูตรน้ำมันหมูผสมกับน้ำมันถั่วเหลือง อัตราส่วน 1:1 (LO:SO) และอาหารสูตรน้ำมันปลาผสมกับน้ำมันหมู อัตราส่วน 1:1 (FO:LO) จากการวิเคราะห์กรดไขมันในอาหารและเนื้อปลา ได้ผลดังนี้ องค์ประกอบของกรดไขมันในอาหารและเนื้อปลาที่มีการเสริมกรดไขมันโอเมก้า-3 โดยเลี้ยงในระบบไบโอฟลอค ในชุดการทดลองแรก พบว่า ในอาหารชุดการทดลอง FO มีปริมาณโอเมก้า 3 สูงที่สุด (6.08%) และในอาหารชุดการทดลองที่มีส่วนผสมของน้ำมันหมูมีปริมาณโอเมก้า 3 น้อยที่สุด คือ อาหารชุด LO (0.40%) เนื้อปลาที่ได้รับสูตรอาหารชุดการทดลอง FO สามารถเพิ่มปริมาณโอเมก้า 3 ในเนื้อปลามากที่สุด (9.75 %) ในขณะที่เนื้อปลาในชุดการทดลองที่ได้รับน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันหมู มีค่ากรดไขมันโอเมก้า3 ในเนื้อต่ำที่สุด อย่างไรก็ตามสัดส่วนการให้น้ำมันปลาที่เหมาะสมจึงจะเพิ่มปริมาณโอเมก้า 3 ในเนื้อดีกว่าให้ร่วมกับน้ำมันชนิดอื่น (ตารางที่ 12)

การทดลองชุดที่สอง ใช้อาหารสำเร็จรูปที่มีการเสริมสาหร่ายที่มีแหล่งของกรดไขมันโอเมก้า 3 มี โปรตีนไม่ต่ำกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ และไขมันไม่ต่ำกว่า 9 เปอร์เซ็นต์ อัตราอาหารเม็ดที่ให้

ตลอดการทดลอง 5 % ของน้ำหนักตัว เลี้ยงเป็นระยะเวลา 60 วัน โดยมีการเสริมสาหร่ายในอาหาร 15 วัน ก่อนการจับ หลังจากนั้นนำอาหารและเนื้อปลาไปทำการวิเคราะห์กรดไขมัน แต่ละสูตร 4 สูตร คืออาหารสูตรควบคุม (Control), อาหารผสมกับสาหร่าย *Schizochytrium* sp. (SC), อาหารผสมกับสาหร่าย *Schizochytrium* sp.: น้ำมันถั่วเหลือง ในอัตราส่วน 1:2 (SC: SO (1:2)) และ อาหารผสมกับสาหร่าย *Schizochytrium* sp.: น้ำมันถั่วเหลือง ในอัตราส่วน 2:1 (SC: SO (2:1)) จากการวิเคราะห์กรดไขมันในอาหารและเนื้อปลา ได้ผลคือ องค์ประกอบของกรดไขมันในอาหารและเนื้อปลาที่มีการเสริมกรดไขมันโอเมก้า-3 โดยเลี้ยงในระบบไบโอฟลอค ในชุดการทดลองที่สอง พบว่า อาหารชุดที่เสริมสาหร่าย *Schizochytrium* sp. เพื่อเพิ่มกรดไขมันโอเมก้า 3 อาหารชุด SC มีกรดไขมันโอเมก้า 3 สูงที่สุด (5.44%) รองลงมาเป็นอาหารชุด (SC: SO (2:1)), อาหารชุด (SC: SO (1:2)) และอาหารชุดควบคุม ตามลำดับ เนื้อปลาที่ได้รับอาหารสูตร SC พบว่าสามารถสะสมกรดไขมันในเนื้อได้สูงที่สุด (7.55%) ในขณะที่เนื้อปลาที่ได้รับอาหารชุดควบคุมมีการสะสมกรดไขมันโอเมก้า 3 ในเนื้อปลาน้อยที่สุด (1.83%) จึงสามารถบอกได้ว่าการให้สาหร่าย *Schizochytrium* sp. ในอาหารชุดการทดลอง SC ที่ให้สาหร่าย 100 เปอร์เซ็นต์ จะเพิ่มปริมาณโอเมก้า 3 ได้ดีกว่าการเสริมสาหร่ายเพื่อเพิ่มโอเมก้าในสัดส่วนอื่น (ตารางที่ 13)

จากตารางที่ 12-13 องค์ประกอบของกรดไขมันในอาหารและเนื้อปลาที่มีการเสริมกรดไขมันโอเมก้า 3 โดยเลี้ยงในระบบไบโอฟลอค พบว่าเปอร์เซ็นต์ไขมัน โดยเฉพาะกรดไขมันโอเมก้า-3 และโอเมก้า-6 พบว่าในชุดการทดลองที่ให้อาหารสูตรพื้นฐานผสมกับน้ำมันปลา (Crab et al.Tom Defoirdt et al.) และ ชุดที่ให้อาหารผสมกับสาหร่าย *Schizochytrium* sp. (SC) มีการสะสมกรดไขมันโอเมก้า-3 และ 6 ในเนื้อปลามากที่สุด จึงเป็นชุดการทดลองที่ดีที่สุดที่จะนำไปใช้ในการทดลองที่ 2 ต่อไป และเพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าให้แก่ปลานิลยิ่งขึ้น จึงได้เปลี่ยนอาหารปลาจากสูตรปกติเป็นอาหารปลานิลสูตรอินทรีย์ที่มีการใช้วัตถุดิบอินทรีย์ที่ได้รับรองมาตรฐานตามที่ มกท. กำหนดและได้กำหนดขนาดปลานิลที่เลี้ยงเริ่มต้นที่ขนาด 100 กรัมเลี้ยงเป็นระยะเวลา 120 วัน เพื่อได้ขนาดปลาตามที่ตลาดต้องการ

การทดลองที่ 2

การทดลองที่ 2 การศึกษาการเสริมโอเมก้า-3 เพื่อเพิ่มมูลค่าปลานิลอินทรีย์ในระบบไบโอฟลอค สู่เชิงอินทรีย์ในระดับอุตสาหกรรมขนาดย่อม โดยการทดลองได้แบ่งชุดการทดลอง เป็น 4 ชุดการทดลอง ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 ชุดควบคุม (Control)

ชุดการทดลองที่ 2 อาหารอินทรีย์ (SO)

ชุดการทดลองที่ 3 อาหารอินทรีย์ผสมกับน้ำมันปลา (FO)

ชุดการทดลองที่ 4 อาหารอินทรีย์ผสมกับสาหร่าย *Schizochytrium* sp. (SC)

2.1. ผลการศึกษาการเปรียบเทียบปัจจัยด้านประสิทธิภาพและการเจริญเติบโต

จากการศึกษาการเปรียบเทียบปัจจัยด้านประสิทธิภาพและการเจริญเติบโตที่เลี้ยงภายใต้ระบบไบโอฟลอค โดยทำการนับและชั่งน้ำหนักปลาในแต่ละบ่อ ทุก ๆ 14 วัน นำข้อมูลที่ได้ไปปรับปริมาณการให้อาหาร ได้นำข้อมูลไปวิเคราะห์ทางสถิติโดยวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อศึกษาความแตกต่างของแต่ละชุดการทดลอง จากนั้นเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทุกชุดการทดลอง โดยวิธีของ Duncan ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for windows 15.0 และทำกราฟโดยโปรแกรม Microsoft Excel ได้ผลดังตารางที่ 14

ตารางที่ 12 องค์ประกอบของกรดไขมันในอาหารและเนื้อปลาที่มีการเสริมกรดไขมันโอเมก้า-3 ที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอค ในชุดการทดลองแรก

% Fatty acid	Diet						Fish flesh					
	Control	FO	FO: SO	LO	LO: SO	FO: LO	Control	FO	FO: SO	LO	LO: SO	FO: LO
C14:0	2.10	11.53	8.86	2.05	1.38	3.87	1.85	2.97	2.86	5.55	4.27	4.18
C16:0	67.28	49.04	36.71	38.66	37.72	45.33	32.77	42.34	42.63	35.95	71.52	66.08
C18:0	9.08	8.22	6.24	10.12	7.90	7.25	Tr	4.96	7.56	17.70	15.57	18.56
C18:1	Tr	20.22	43.28	46.46	44.76	38.96	29.96	16.18	11.08	9.63	Tr	Tr
C18:2	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	30.96	23.80	30.05	25.50	Tr	Tr
C18:3*n*-3	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr
C18:3*n*-6	20.14	4.92	3.57	2.30	7.85	3.59	2.18	Tr	1.74	2.25	2.59	2.61
C22:6	1.40	6.08	1.33	0.42	0.40	0.99	2.55	9.75	4.09	2.42	6.05	8.57
DHA	78.46	68.79	51.81	50.83	47.00	56.45	34.62	50.27	53.05	59.20	91.36	88.82
Total saturated	21.54	31.22	48.18	49.18	53.01	43.54	65.65	49.73	46.96	39.80	8.64	11.18
Total unsaturated	1.40	6.08	1.33	0.42	0.40	0.99	2.55	9.75	4.09	2.42	6.05	8.57

หมายเหตุ: Tr = trace (<0.1 g $100g^{-1}$ fatty acid.)

ตารางที่ 13 องค์ประกอบของกรดไขมันในอาหารและเนื้อปลาที่มีการเสริมกรดไขมันโอเมก้า-3 ที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอค ในชุดการทดลองที่สอง

% Fatty acid	Diet				Fish flesh			
	Control	SC	SC:SO (1:2)	SC:SO (2:1)	Control	SC	SC:SO (1:2)	SC:SO (2:1)
C14:0	10.26	17.45	18.60	17.37	4.30	6.98	6.24	10.91
C16:0	37.89	30.38	31.07	22.10	26.58	38.36	56.81	32.55
C18:0	11.24	6.20	8.79	12.87	15.84	5.47	5.33	16.18
C18:1	11.46	7.06	15.71	6.63	Tr	17.23	8.24	Tr
C18:2	10.76	Tr	16.93	12.07	31.9	26.65	2.45	5.40
C18:3*n*-3	19.57	5.21	12.07	6.92	20.94	9.35	14.75	17.33
C22:6	1.55	5.44	3.49	3.85	1.83	7.55	4.29	5.48
DHA	1.55	5.44	3.49	3.85	1.83	7.55	4.29	5.48
Total saturated	59.39	54.03	58.46	52.34	46.72	50.81	68.38	59.64
Total unsaturated	41.79	12.27	44.71	25.62	56.5	51.1	25.78	33.69

หมายเหตุ: Tr = trace (<0.1 g $100g^{-1}$ fatty acid)

2.1.1. น้ำหนักเริ่มต้น

ปลานิลมีน้ำหนักเริ่มต้นที่ ประมาณ 100 กรัม ปลานิลที่เลี้ยงด้วยสูตรอาหาร Control สูตรอาหารอินทรีย์ (SO) อาหารอินทรีย์ผสมกับน้ำมันปลา (FO) และอาหารอินทรีย์ผสมกับสาหร่าย *Schizochytrium* sp. (SC) มีน้ำหนักตัวเฉลี่ยเริ่มต้นที่ 102.0±1.81, 102.7±1.84, 103.2±1.83 และ 102.4±1.84 กรัมต่อตัว ตามลำดับ (ตารางที่ 14) ซึ่งการทดลองพบว่าในทุกชุดของการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

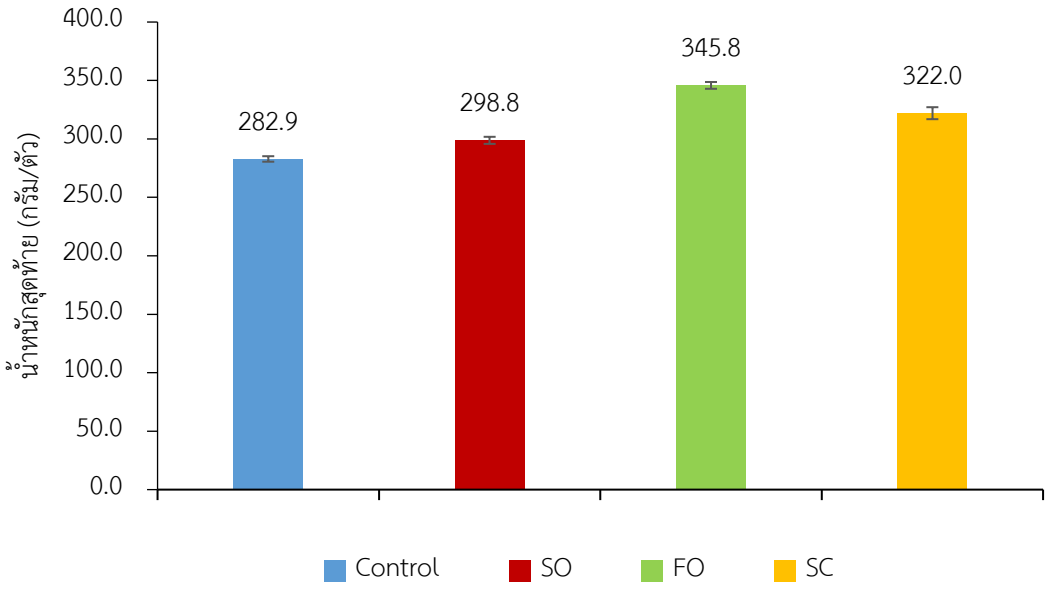
ตารางที่ 14 ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารอินทรีย์ทั้ง 4 สูตรในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน

	ชุดควบคุม (Control)	**อาหารอินทรีย์ (SO)**	**อาหารอินทรีย์ผสมน้ำมันปลา (FO)**	**อาหารอินทรีย์ผสมสาหร่าย (SC)**
น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม/ตัว)	102.0±1.81	102.7±1.84	103.2±1.83	102.4±1.84
น้ำหนักสุดท้าย (กรัม/ตัว)	282.8±1.35^{a}	298.8±1.75^{b}	345.8±1.68^{d}	322.0±2.95^{c}
น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม/ตัว)	180.8±1.38^{a}	196.0±2.05^{b}	242.5±1.28^{d}	219.5±2.81^{c}
อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ	1.8±0.03^{b}	1.4±0.09^{a}	1.4±0.13^{a}	1.4±0.09^{a}
อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (กรัม/วัน)	1.6±0.03^{a}	1.7±0.03^{b}	2.1±0.03^{d}	1.9±0.01^{c}
อัตรารอด (%)	100±0.00	92.0±4.16	96.6±1.76	96.0±3.05

หมายเหตุ : อักษรภาษาอังกฤษที่ใช้ในแนวนอนแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($p<0.05$)

2.1.2 น้ำหนักสุดท้าย

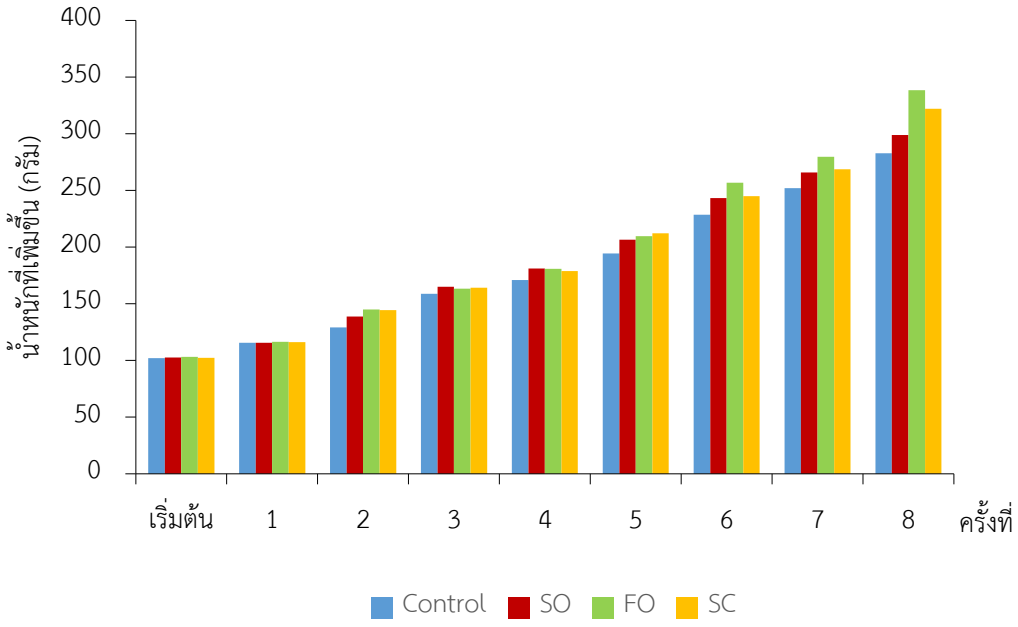
น้ำหนักเฉลี่ยสุดท้ายหลังจากการทดลอง พบว่า ปลานิลที่เลี้ยงด้วยสูตรอาหาร Control มีค่า 282.8±1.35 กรัม/ตัว สูตรอาหาร SO มีค่า 298.8±1.75 กรัม/ตัว สูตรอาหาร FO มีค่า 345.8±1.68 กรัม/ตัว และสูตรอาหาร SC มีค่า 322.0±2.95 กรัม/ตัว (ตารางที่ 14) พบว่า สูตรอาหาร FO ทำให้น้ำหนักเฉลี่ยสุดท้ายของปลานิลที่ทดลองมีค่าสูงที่สุด (345.8±1.68) และสูตรอาหาร Control มีน้ำหนักเฉลี่ยสุดท้ายน้อยที่สุดในการทดลองนี้ (298.8±1.75) แสดงในภาพที่ 9 ซึ่งการทดลองพบว่าปลานิลที่เลี้ยงด้วยสูตรอาหาร FO ที่เสริมน้ำมันปลามีน้ำหนักสุดท้ายแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)



ภาพที่ 9 น้ำหนักเฉลี่ยสุดท้ายของปลานิลหลังจากที่เลี้ยงด้วยอาหารอินทรีย์เสริมกรดไขมัน ทั้ง 4 สูตรในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน

2.1.3 น้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น

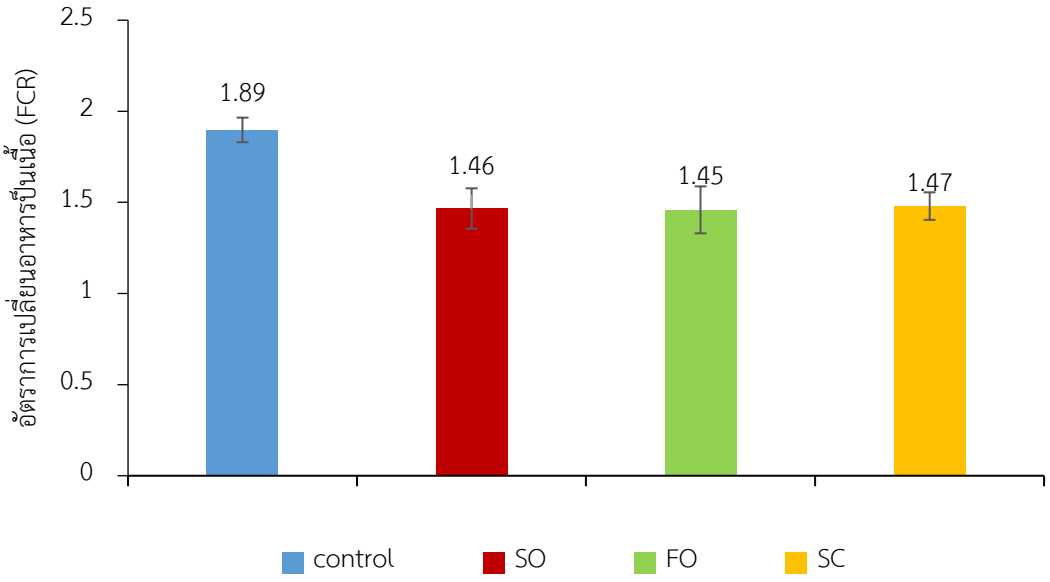
น้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นจากการทดลอง พบว่า ปลานิลที่เลี้ยงด้วยสูตรอาหาร Control มีค่า 180.8±1.38 กรัม/ตัว สูตรอาหาร SO มีค่า 196.0±2.05 กรัม/ตัว สูตรอาหาร FO มีค่า 242.5±1.28 กรัม/ตัว และสูตรอาหาร SC มีค่า 219.5±2.81 กรัม/ตัว (ตารางที่14) สูตรอาหาร FO ทำให้น้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นของปลานิลที่ทดลองมีค่าสูงที่สุด (242.5±1.28) และสูตรอาหาร Control มีน้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นน้อยที่สุด (180.8±1.38) ในการทดลองนี้ (ภาพที่ 10) ซึ่งการทดลองพบว่าปลานิลที่เลี้ยงด้วยสูตรอาหารอินทรีย์เสริมกรดไขมัน ปลามีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)



ภาพที่ 10 น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของปลานิลหลังจากที่เลี้ยงด้วยอาหารอินทรีย์เสริมกรดไขมัน ทั้ง 4 สูตร ในระบบ ไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน

2.1.4 อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR)

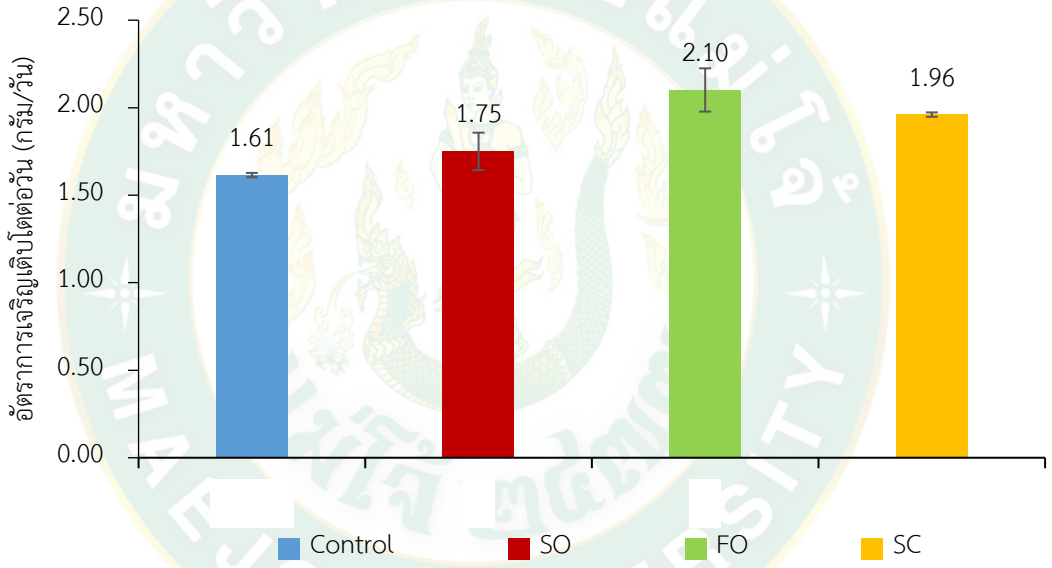
จากการศึกษาอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของปลานิลที่เลี้ยงโดยอาหารอินทรีย์เสริมกรดไขมันในระบบไบโอฟลอค เป็นระยะเวลา 120 วัน สูตร Control สูตร SO สูตร FO และสูตร SC พบว่า อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (ตารางที่ 14 และภาพที่ 11) มีค่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ คือ 1.8±0.03, 1.4±0.09, 1.4±0.13 และ 1.4±0.09 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ค่าทางสถิติพบว่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อในสูตรอาหาร Control มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) แต่ชุดการทดลองสูตร SO สูตร FO และสูตร SC ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)



ภาพที่ 11 อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของปลานิลหลังจากที่เลี้ยงด้วยอาหารอินทรีย์เสริมกรดไขมัน ทั้ง 4 สูตรในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน

2.1.5 อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (ADG)

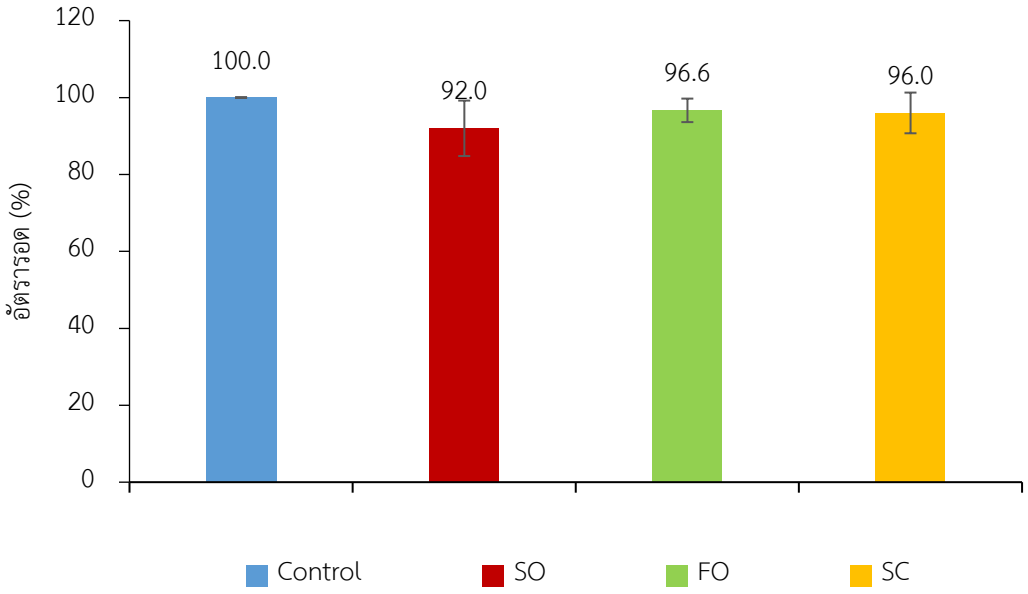
จากการศึกษาอัตราการเจริญเติบโตต่อวันของปลานิลที่เลี้ยงโดยอาหารอินทรีย์เสริมกรดไขมันในระบบไบโอฟลอค เป็นระยะเวลา 120 วัน สูตร Control สูตร SO สูตร FO และสูตร SC พบว่า อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน มีค่า 1.6±0.03, 1.7±0.03, 2.1±0.03 และ 1.9±0.01 กรัม/วัน ตามลำดับ (ตารางที่ 14 และภาพที่ 12) พบว่า อัตราการเจริญเติบโตต่อวันของปลานิลในสูตร FO มีค่าสูงที่สุด (2.1±0.03) รองลงมาเป็นสูตร SC และสูตร SO ส่วนสูตร Control มีอัตราการเจริญเติบโตต่อวันต่ำที่สุด เมื่อวิเคราะห์ค่าทางสถิติ พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)



ภาพที่ 12 อัตราการเจริญเติบโตของปลานิลหลังจากที่เลี้ยงด้วยอาหารอินทรีย์เสริมกรดไขมันทั้ง 4 สูตรในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน

2.1.6 อัตรารอด (%)

อัตรารอดของปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารอินทรีย์เสริมกรดไขมันทั้ง 4 สูตร ในระบบไบโอฟลอค จากการทดลอง พบว่า อาหารสูตร Control มีค่า 100±0.00 % สูตร SO มีค่า 92.0±4.16 % สูตร FO มีค่า 96.6±1.76 % และสูตร SC มีค่า 96.0±3.05 % (ตารางที่ 14 และภาพที่ 13) จากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (p>0.05)



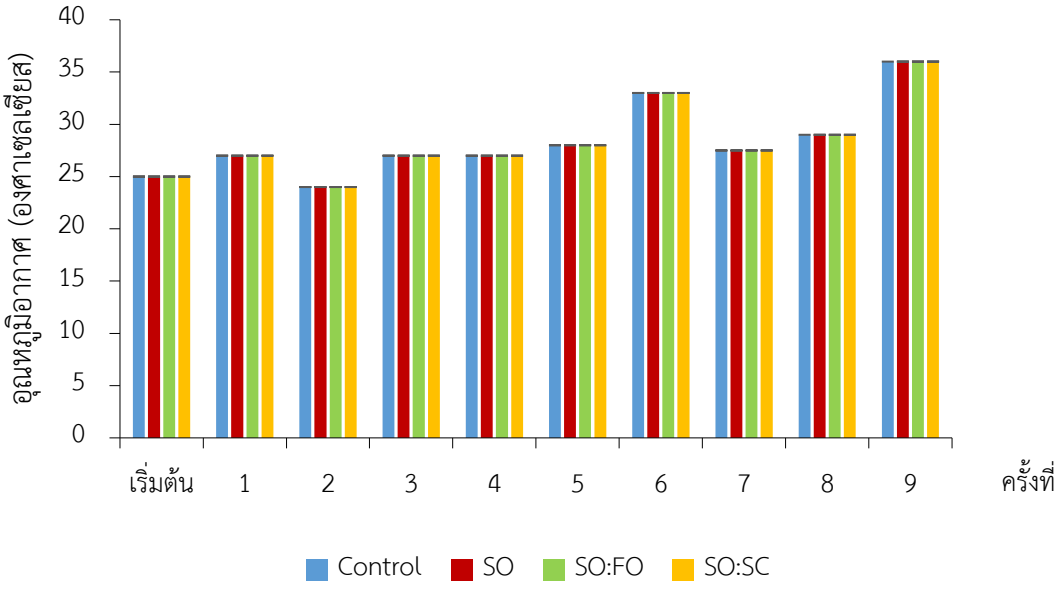
ภาพที่ 13 อัตรารอดปลานิลหลังจากที่เลี้ยงด้วยอาหารอินทรีย์เสริมกรดไขมันทั้ง 4 สูตร ในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน

2.2 ผลของคุณภาพน้ำในบ่อปลานิลที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอค

2.2.1 ด้านกายภาพ

อุณหภูมิอากาศ (°C)

อุณหภูมิอากาศในบ่อเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค 4 ชุดการทดลอง ทำการวัด 14 วัน/ครั้ง เป็นระยะเวลา 120 วัน (ภาพที่ 14) พบว่า อุณหภูมิอากาศในบ่อเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค เฉลี่ยอยู่ในช่วง 24.0-36.0 °C อุณหภูมิอากาศในบ่อเลี้ยงปลานิล ครั้งที่ 9 มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด คือ 36.0±0.00 °C และอุณหภูมิอากาศในบ่อปลานิลต่ำสุด คือ ครั้งที่ 2 และครั้งที่ 4 มีค่าเฉลี่ย 24.0±0.00 °C เมื่อวิเคราะห์ค่าทางสถิติ (ตารางที่ 15) อุณหภูมิอากาศในแต่ละครั้งที่เก็บตัวอย่างมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ค่าอุณหภูมิอากาศในแต่ละชุดของการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)



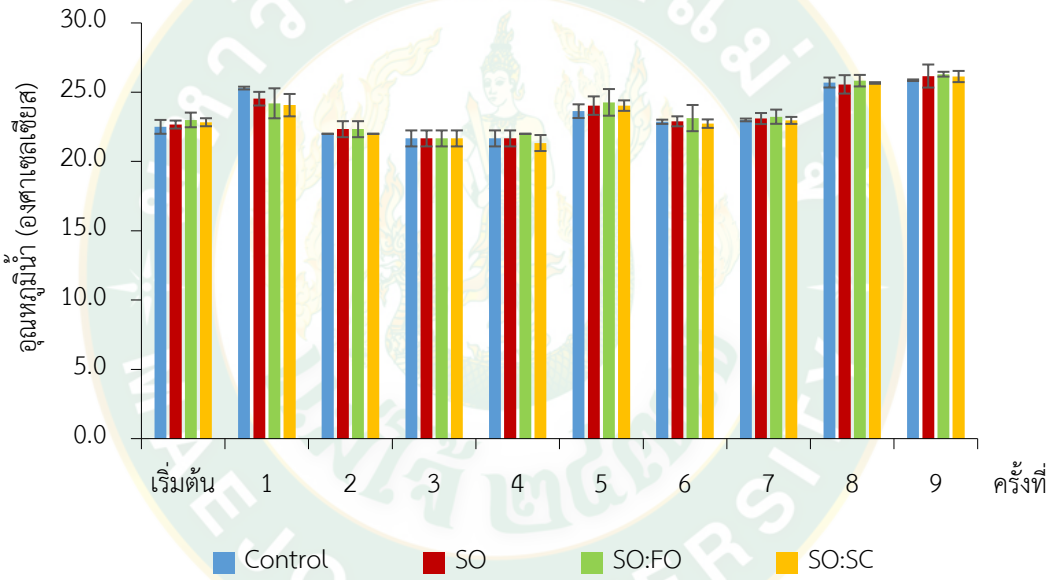
ภาพที่ 14 อุณหภูมิอากาศในบ่อที่เลี้ยงปลานิลเสริมกรดไขมันในอาหารอินทรีย์ทั้ง 4 สูตร ในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน

ตารางที่ 15 อุณหภูมิอากาศ (°C) ในบ่อที่เลี้ยงปลานิลเสริมกรดไขมันในอาหารอินทรีย์ทั้ง 4 สูตร ในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน

ครั้งที่ / ชุดการทดลอง	เริ่มต้น	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Control	25.0 ± 0.0	27.0 ± 0.0	24.0 ± 0.0	27.0 ± 0.0	27.0 ± 0.0	28.0 ± 0.0	33.0 ± 0.0	27.5 ± 0.0	29.0 ± 0.0	36.0 ± 0.0
SO	25.0 ± 0.0	27.0 ± 0.0	24.0 ± 0.0	27.0 ± 0.0	27.0 ± 0.0	28.0 ± 0.0	33.0 ± 0.0	27.5 ± 0.0	29.0 ± 0.0	36.0 ± 0.0
FO	25.0 ± 0.0	27.0 ± 0.0	24.0 ± 0.0	27.0 ± 0.0	27.0 ± 0.0	28.0 ± 0.0	33.0 ± 0.0	27.5 ± 0.0	29.0 ± 0.0	36.0 ± 0.0
SC	25.0 ± 0.0	27.0 ± 0.0	24.0 ± 0.0	27.0 ± 0.0	27.0 ± 0.0	28.0 ± 0.0	33.0 ± 0.0	27.5 ± 0.0	29.0 ± 0.0	36.0 ± 0.0

อุณหภูมิน้ำ (°C)

อุณหภูมิน้ำในบ่อเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค 4 ชุดการทดลอง ทำการวัด 14 วัน/ครั้ง เป็นระยะเวลา 120 วัน (ภาพที่ 15) พบว่า อุณหภูมิน้ำในบ่อเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค เฉลี่ยอยู่ในช่วง 21.3-26.3 °C อุณหภูมิน้ำในบ่อเลี้ยงปลานิลชุด FO ครั้งที่ 9 มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด คือ 26.3±0.00 °C และอุณหภูมิอากาศในบ่อปลานิลต่ำสุด คือ ครั้งที่ 4 มีค่าเฉลี่ย 21.3±0.33 °C เมื่อวิเคราะห์ค่าทางสถิติ (ตารางที่ 16) พบว่า เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำในแต่ละครั้งที่เก็บตัวอย่างและค่าอุณหภูมิน้ำในแต่ละชุดการทดลอง พบว่า อุณหภูมิน้ำทุกชุดการทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)



ภาพที่ 15 อุณหภูมิน้ำในบ่อที่เลี้ยงปลานิลเสริมกรดไขมันในอาหารอินทรีย์ทั้ง 4 สูตร ในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน

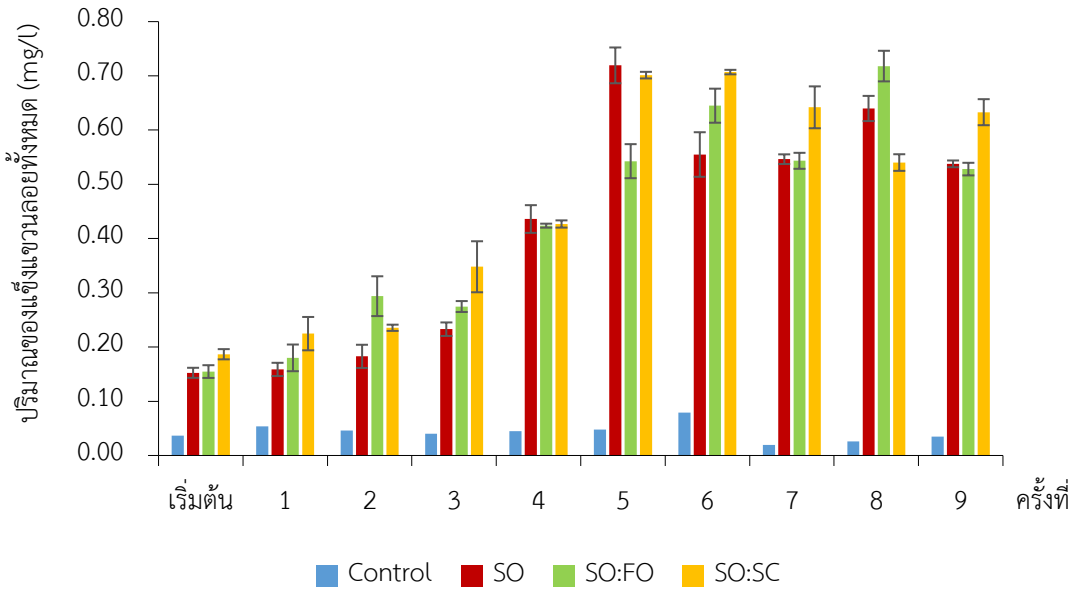
ตารางที่ 16 อุณหภูมิน้ำ (°C) ในบ่อที่เลี้ยงปลานิลเสริมกรดไขมันในอาหารอินทรีย์ทั้ง 4 สูตร ในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน

ครั้งที่ / ชุดการทดลอง	เริ่มต้น	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Control	22.5± 0.28^{bc}	25.3±0.05^{e}	22.0±0.00^{ab}	21.6±0.33^{a}	21.6±0.33^{a}	23.6±0.28^{d}	22.8±0.08^{c}	23.0±0.05^{c}	25.7±0.20^{e}	25.8±0.03^{e}
SO	22.6±0.16^{ab}	24.5±0.28^{d}	22.3±0.33^{ab}	21.6±0.33^{a}	21.6±0.33^{a}	24.0±0.38^{cd}	22.9±0.20^{b}	23.1±0.23^{bc}	25.5±0.38^{e}	26.1±0.48^{e}
FO	23.0±0.32^{abc}	24.2±0.62^{cd}	22.3± 0.33^{ab}	21.6±0.33^{a}	22.0±0.00^{ab}	24.2±0.55^{d}	23.1±0.54^{bcd}	23.2±0.29^{bcd}	25.8±0.24^{e}	26.3±0.10^{e}
SC	22.8±0.16^{c}	24.1±0.46^{d}	22.0±0.00^{ab}	21.6±0.33^{a}	21.3±0.33^{a}	24.0±0.21^{d}	22.7±0.17^{bc}	22.9±0.14^{c}	25.6±0.03^{e}	26.1±0.23^{e}

หมายเหตุ : อักษรภาษาอังกฤษที่ใช้ในแนวนอนแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ปริมาณของแขวนลอยทั้งหมด (Total suspended solids)

ปริมาณของแขวนลอยทั้งหมด ในบ่อเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค 4 ชุดการทดลอง ทำการวัด 14 วัน/ครั้ง เป็นระยะเวลา 120 วัน (ภาพที่ 16) พบว่า ปริมาณของแขวนลอยทั้งหมดในบ่อเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค เฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.01-0.71 mg/l ปริมาณของแขวนลอยทั้งหมดในบ่อเลี้ยงปลานิลชุด FO ครั้งที่ 8 มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด คือ 0.71±0.01 mg/l และปริมาณของแขวนลอยทั้งหมดในบ่อปลานิลต่ำสุด ในชุด Control คือ ครั้งที่ 7 มีค่าเฉลี่ย 0.01±0.00 เมื่อระยะเวลาผ่านไปปริมาณของแขวนลอยทั้งหมดมีการเพิ่มขึ้น ในชุดการทดลอง SO FO และ SC แต่ในชุด Control ยังมีปริมาณที่คงที่ เมื่อวิเคราะห์ค่าทางสถิติ (ตารางที่ 17) พบว่า เมื่อเปรียบเทียบปริมาณของแขวนลอยทั้งหมดในแต่ละครั้งที่เก็บตัวอย่าง และค่าปริมาณของแขวนลอยทั้งหมดในแต่ละชุดการทดลอง พบว่า ปริมาณของแขวนลอยทั้งหมดทุกชุดการทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)



ภาพที่ 16 ปริมาณของแขวนลอยทั้งหมด ในบ่อที่เลี้ยงปลานิลเสริมกรดไขมันในอาหารอินทรีย์ทั้ง 4 สูตร ในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน

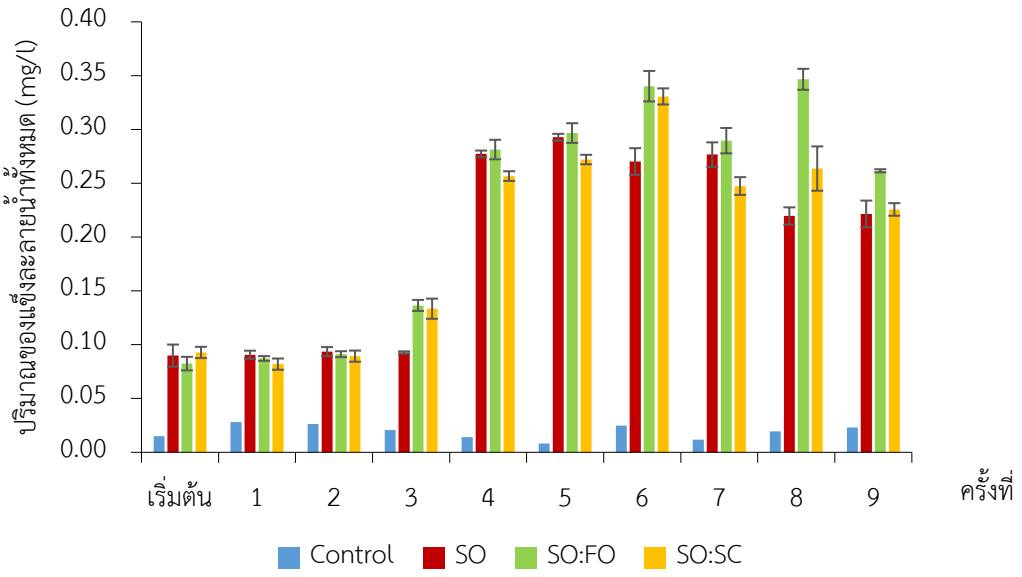
ตารางที่ 17 ปริมาณของแขวนลอยทั้งหมด (TSS) ในบ่อที่เลี้ยงปลานิลเสริมกรดไขมันในอาหารอินทรีย์ทั้ง 4 สูตร ในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน

ครั้งที่ / ชุดการทดลอง	เริ่มต้น	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Control	0.03 ± 0.00^{Acd}	0.05 ± 0.00^{Af}	0.04 ± 0.00^{Adef}	0.04 ± 0.00^{Acde}	0.04 ± 0.00^{Acdef}	0.04 ± 0.00^{Aef}	0.07 ± 0.00^{Ag}	0.01 ± 0.00^{Aa}	0.02 ± 0.00^{Aab}	0.03 ± 0.00^{Abc}
SO	0.15 ± 0.00^{Ba}	0.15 ± 0.01^{Ba}	0.18 ± 0.01^{Ba}	0.43 ± 0.00^{Bb}	0.43 ± 0.00^{Bc}	0.71 ± 0.01^{Cf}	0.55 ± 0.02^{Bd}	0.54 ± 0.00^{Bd}	0.63 ± 0.01^{Ce}	0.53 ± 0.00^{Bd}
FO	0.15 ± 0.00^{Ba}	0.18 ± 0.01^{Ba}	0.29 ± 0.02^{Db}	0.42 ± 0.00^{Bb}	0.42 ± 0.00^{Bc}	0.54 ± 0.01^{Bd}	0.64 ± 0.01^{Ce}	0.54 ± 0.00^{Bd}	0.71 ± 0.01^{Df}	0.52 ± 0.00^{Bd}
SC	0.18 ± 0.00^{Ca}	0.22 ± 0.01^{Cab}	0.23 ± 0.00^{Cb}	0.42 ± 0.02^{Cc}	0.42 ± 0.00^{Bd}	0.70 ± 0.00^{Cg}	0.70 ± 0.00^{Dg}	0.64 ± 0.02^{Cf}	0.54 ± 0.00^{Be}	0.63 ± 0.01^{Cf}

หมายเหตุ : อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ที่ใช้ในแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %
อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่ใช้ในแนวนอนแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total dissolved solids)

ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมดในบ่อเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค 4 ชุดการทดลอง ทำการวัด 14 วัน/ครั้ง เป็นระยะเวลา 120 วัน (ภาพที่ 17) พบว่า ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมดในบ่อเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค เฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.01-0.34 mg/l ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมดในบ่อเลี้ยงปลานิลชุด FO ครั้งที่ 6 มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด คือ 0.34 mg/l และปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมดในบ่อปลานิลต่ำสุด คือ ชุดการทดลอง Control ครั้งที่ 5 มีค่าเฉลี่ย 0.01 mg/l เมื่อระยะเวลาผ่านไปปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมดมีการเพิ่มขึ้น ในชุดการทดลอง SO FO และ SC แต่ในชุด Control ยังมีปริมาณที่คงที่ เมื่อวิเคราะห์ค่าทางสถิติ (ตารางที่ 18) พบว่า เมื่อเปรียบเทียบปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมดในแต่ละครั้งที่เก็บตัวอย่างและค่าปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมดในแต่ละชุดการทดลอง พบว่า ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมดทุกชุดการทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)



ภาพที่ 17 ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมดในบ่อที่เลี้ยงปลานิลเสริมกรดไขมันในอาหารอินทรีย์ทั้ง 4 สูตร ในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน

ตารางที่ 18 ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมดในบ่อที่เลี้ยงปลานิลเสริมกรดไขมันในอาหารอินทรีย์ทั้ง 4 สูตร ในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120วัน

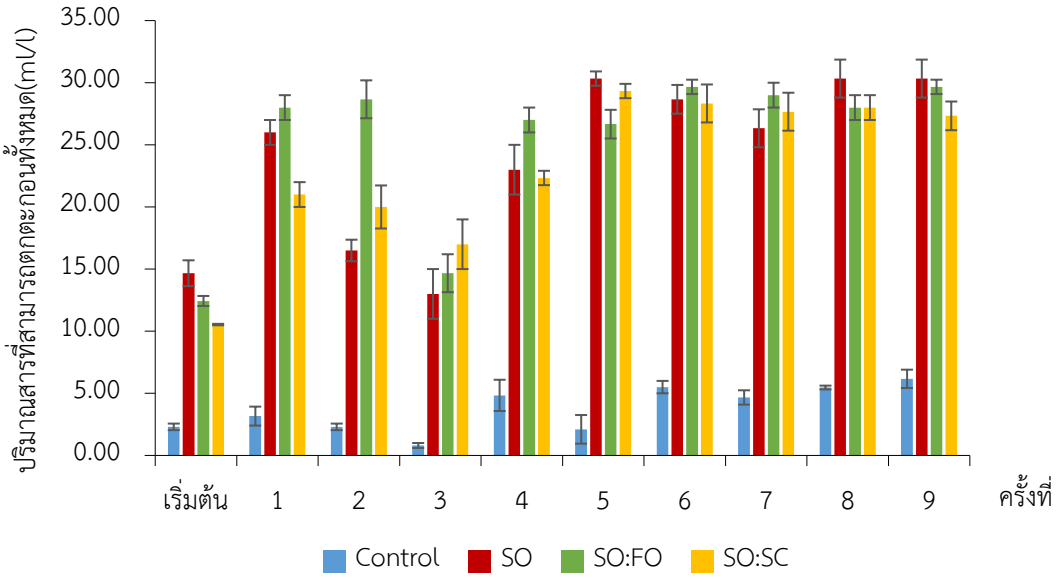
ครั้งที่ / ชุดการทดลอง	เริ่มต้น	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Control	0.01±0.00^{Aab}	0.02±0.00^{Ae}	0.02±0.00^{ac}	0.02±0.00^{abc}	0.01±0.00^{Aab}	0.01±0.00^{Aa}	0.02±0.00^{Aabc}	0.01±0.00^{Aab}	0.01±0.00^{Abc}	0.02±0.00^{Abc}
SO	0.08±0.01^{Ba}	0.09±0.00^{Ca}	0.09±0.00^{Ba}	0.09±0.00^{Ba}	0.27±0.00^{Cc}	0.09±0.06^{Cd}	0.27±0.00^{Bc}	0.27±0.01 ^{Cc}	0.21±0.00 ^{Bb}	0.22±0.01^{Bb}
FO	0.08±0.00^{Ba}	0.08±0.01 ^{Ba}	0.09±0.00 ^{Ba}	0.13±0.00^{Cb}	0.28±0.00 ^{Cd}	0.29±0.01 ^{Ce}	0.34±0.01^{Cf}	0.28±0.01 ^{Cd}	0.34±0.01 ^{Df}	0.26±0.00^{Cc}
SC	0.09±0.00^{Ba}	0.08±0.00 ^{Ba}	0.08±0.00 ^{Ba}	0.13±0.00^{Cb}	0.255±0.00^{Bde}	0.27±0.00 ^{Be}	0.33±0.00^{Cf}	0.24±0.00 ^{Bd}	0.26±0.01 ^{Ce}	0.22±0.01^{Bc}

หมายเหตุ : อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ที่ใช้ในแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่ใช้ในแนวนอนแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ปริมาณสารที่สามารถตกตะกอนทั้งหมด (Total settable solids)

ปริมาณสารที่สามารถตกตะกอนทั้งหมดในบ่อเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค 4 ชุดการทดลอง ทำการวัด 14 วัน/ครั้ง เป็นระยะเวลา 120 วัน (ภาพที่ 18) พบว่า ปริมาณสารที่สามารถตกตะกอนทั้งหมดในบ่อเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค เฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.8-30.3 ml/l เมื่อระยะเวลาผ่านไปปริมาณสารที่สามารถตกตะกอนทั้งหมดมีการเพิ่มขึ้น ในชุดการทดลอง SO FO และ SC แต่ในชุด Control ยังมีปริมาณที่คงที่ เมื่อวิเคราะห์ค่าทางสถิติ (ตารางที่ 19) ปริมาณสารที่สามารถตกตะกอนทั้งหมดในแต่ละครั้งของการเก็บตัวอย่าง มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) และค่าปริมาณสารที่สามารถตกตะกอนทั้งหมดในแต่ละชุดการทดลอง มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)



ภาพที่ 18 ปริมาณสารที่สามารถตกตะกอนทั้งหมด ในบ่อที่เลี้ยงปลานิลเสริมกรดไขมันในอาหารอินทรีย์ทั้ง 4 สูตร ในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน

ตารางที่ 19 ปริมาณสารที่สามารถตกตะกอนทั้งหมดในบ่อที่เลี้ยงปลานิลเสริมกรดไขมันในอาหารอินทรีย์ทั้ง 4 สูตร ในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน

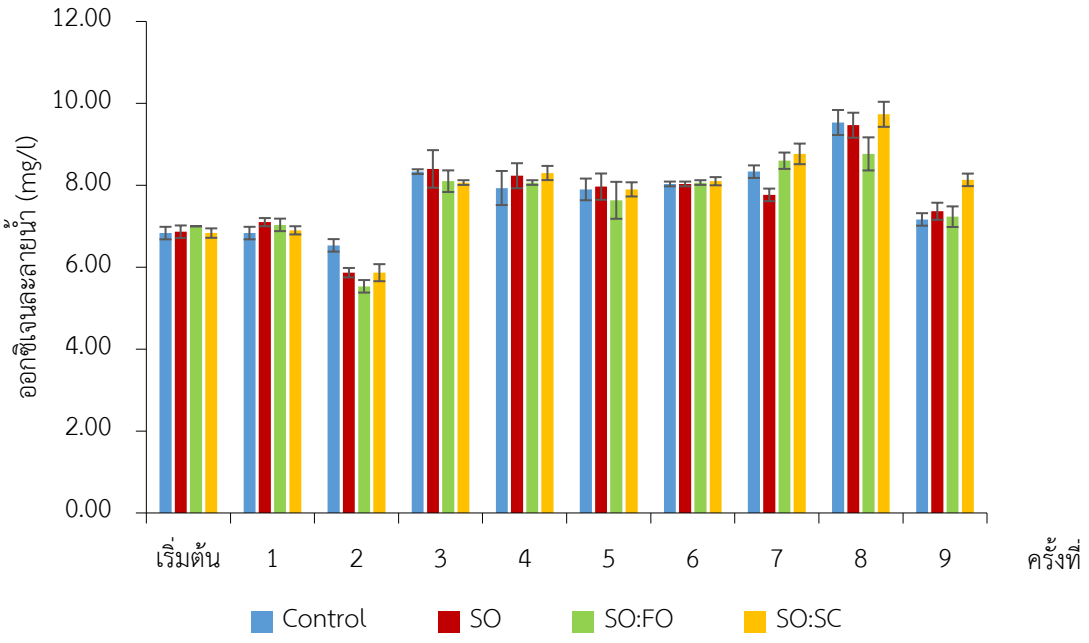
ครั้งที่ / ชุดการทดลอง	เริ่มต้น	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Control	2.3±0.15^{Ab}	3.1±0.11^{Ab}	2.3±0.15^{Ab}	0.8±0.11^{Aa}	1.8±0.11^{Ac}	2.1±0.66^{Ab}	5.5±0.28^{Acd}	4.6±0.33^{Ac}	5.4±0.08^{Acd}	6.1±0.42^{Ad}
SO	94.6±0.60^{Dab}	26.0±0.57^{Cd}	16.5±0.50^{Bb}	13.0±0.15^{ab}	23.0±0.15^{Bc}	30.3±0.33^{Cf}	28.6±0.66^{Bef}	26.3±0.88^{Bde}	30.3±0.88^{Cf}	30.3±0.88^{Cf}
FO	12.4±0.23^{Ca}	28.0±0.57^{Dcde}	28.6±0.88^{Dde}	14.6±0.88^{Cb}	27.0±0.57^{Ccd}	26.6±0.66^{Bc}	29.6±0.33^{Be}	29.0±0.57^{Ce}	28.0±0.57^{Bcde}	29.6±0.33^{Ce}
SC	10.5±0.03^{Ba}	21.0±0.57^{Bcd}	20.0±0.10^{Cc}	17.0±0.15^{Bb}	22.3±0.33^{Bd}	29.3±0.33^{Ce}	28.3±0.88^{Be}	27.6±0.88^{Bc}	28.0±0.57^{Be}	27.3±0.66^{Be}

หมายเหตุ : อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ที่ใช้ในแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %
อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่ใช้ในแนวนอนแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

2.2.2 ด้านเคมี

ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ

ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในบ่อเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค 4 ชุดการทดลอง ทำการวัด 14 วัน/ครั้ง เป็นระยะเวลา 120 วัน (ภาพที่ 20) พบว่า ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในบ่อเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค เฉลี่ยอยู่ในช่วง 5.5-9.5 mg/l แนวโน้มของปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีความคงที่ตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดการทดลองและค่าที่มากกว่า 5 mg/l เมื่อวิเคราะห์ค่าทางสถิติ (ตารางที่ 20) ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในแต่ละครั้งที่เก็บตัวอย่างและปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในแต่ละชุดของการทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)



ภาพที่ 19 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในบ่อที่เลี้ยงปลานิลเสริมกรดไขมันในอาหารอินทรีย์ทั้ง 4 สูตร ในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน

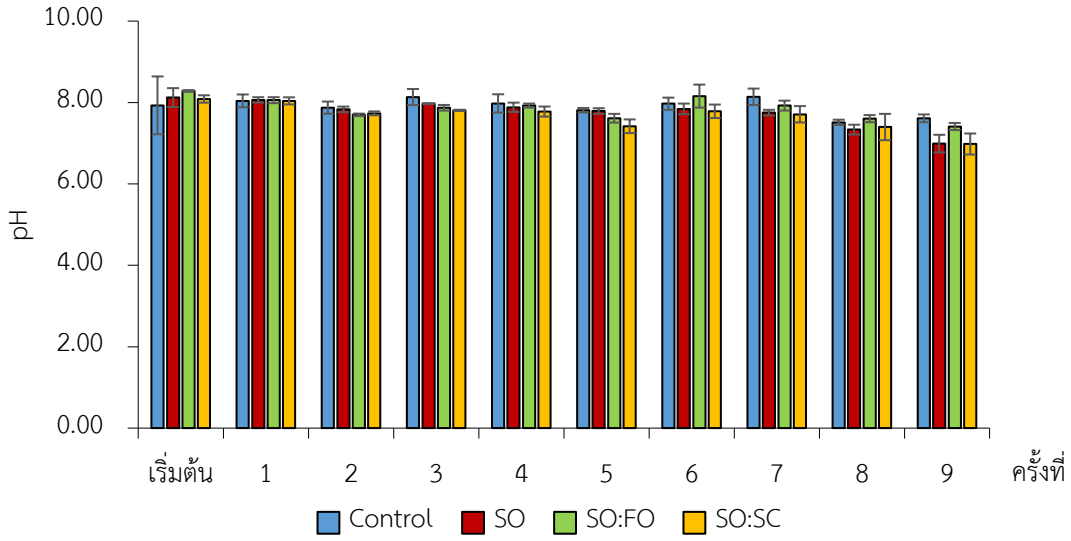
ตารางที่ 20 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในบ่อที่เลี้ยงปลานิลเสริมกรดไขมันในอาหารอินทรีย์ทั้ง 4 สูตร ในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน

ครั้งที่ / ชุดการทดลอง	เริ่มต้น	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Control	6.8±0.08^{ab}	6.8±0.08^{Aab}	6.5±0.08^{Ca}	8.3±0.03^{d}	7.9±0.24^{cd}	7.9±0.15^{c}	8.0±0.03^{cd}	8.3±0.08^{Bd}	9.5±0.17^{Be}	7.1±0.08^{Ab}
SO	6.8±0.08^{B}	7.1±0.05^{Cbc}	5.9±0.06^{Ba}	8.4±0.26^{f}	8.2±0.17^{f}	7.9±0.18^{ef}	8.0±0.03^{ef}	7.7±0.08^{Ade}	9.4±0.17^{Bg}	7.3±0.12^{Acd}
FO	7.0±0.00^{B}	7.0±0.08^{ABb}	5.5±0.08^{Aa}	8.0±0.15^{e}	8.0±0.03^{de}	7.6±0.26^{cd}	8.0±0.03^{de}	8.6±0.11^{ABf}	8.7±0.23^{Af}	7.2±0.14^{Abc}
SC	6.8±0.06^{B}	6.9±0.05^{ABb}	5.8±0.12^{Ba}	8.3±0.03^{cd}	8.3±0.10^{d}	7.9±0.10^{c}	8.1±0.05^{cd}	8.7±0.14^{Be}	9.7±0.17^{Be}	8.1±0.08^{Bcd}

หมายเหตุ : อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ที่ใช้ในแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %
อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่ใช้ในแนวนอนแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

pH ในบ่อเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค 4 ชุดการทดลอง ทำการวัด 14 วัน/ครั้ง เป็นระยะเวลา 120 วัน (ภาพที่ 20) พบว่า pH ในระบบไบโอฟลอค เฉลี่ยอยู่ในช่วง 6.9-8.2 ค่า pH มีค่าคงที่ตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดการทดลอง ซึ่งมีค่าเป็นกลาง เมื่อวิเคราะห์ค่าทางสถิติ (ตารางที่ 21) พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างแต่ละครั้งที่เก็บตัวอย่าง แต่ละชุดการทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) และค่าความเป็นกรด-ด่างในแต่ละชุดของการทดลอง มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)



ภาพที่ 20 ค่าความเป็นกรด-ด่างในบ่อที่เลี้ยงปลานิลเสริมกรดไขมันในอาหารอินทรีย์ทั้ง 4 สูตร ในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน

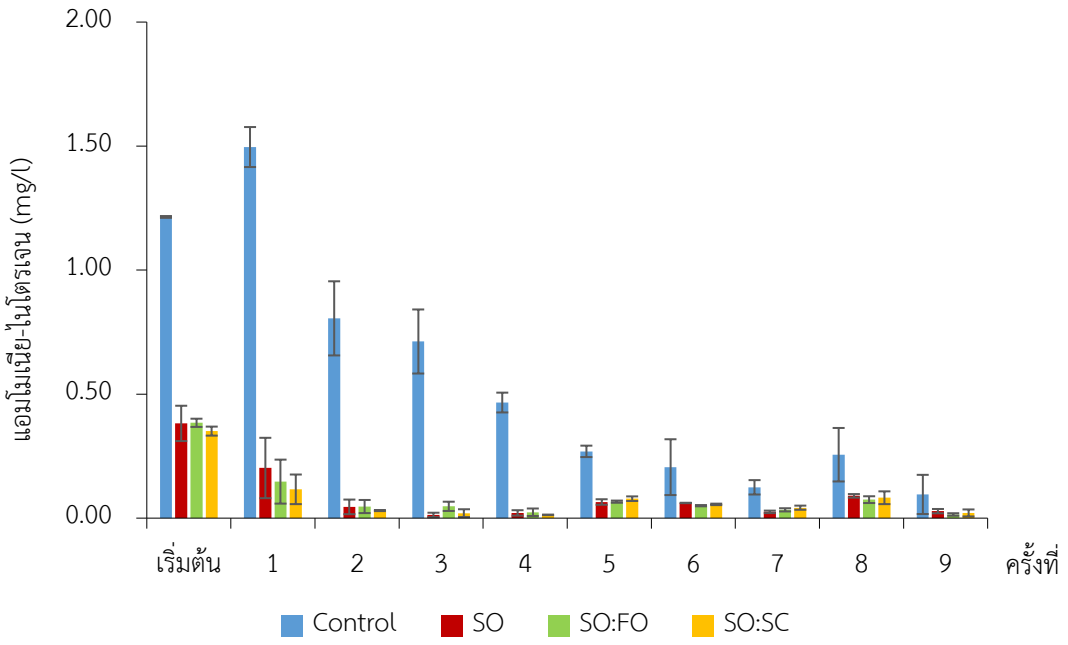
ตารางที่ 21 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในบ่อที่เลี้ยงปลานิลเสริมกรดไขมันในอาหารอินทรีย์ทั้ง 4 สูตร ในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน

ครั้งที่ / ชุดการทดลอง	เริ่มต้น	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Control	7.9±0.41^{abc}	8.0±0.03^{bc}	7.8±0.08^{Babc}	8.1±0.01^{Bc}	7.9±0.12^{abc}	7.8±0.03^{Babc}	7.9±0.08^{abc}	8.1±0.11^{Bc}	7.5±0.03^{a}	7.6±0.05^{Bab}
SO	8.1±0.13^{e}	8.0±0.03^{de}	7.8±0.04^{ABcd}	7.9±0.01^{ABcde}	7.8±0.06^{cd}	7.7±0.04^{Bc}	7.8±0.07^{cd}	7.5±0.04^{Ac}	7.5±0.06^{b}	6.9±0.06^{Aa}
FO	8.2±0.01^{f}	8.0±0.04^{de}	7.6±0.01^{Abc}	7.8±0.04^{Acd}	7.9±0.02^{d}	7.6±0.06^{ABab}	8.1±0.16^{ef}	7.9±0.07^{ABd}	7.6±0.65^{ab}	7.4±0.05^{Ba}
SC	8.0±0.05^{e}	8.0±0.05^{de}	7.7±0.02^{ABd}	7.8±0.01^{Ade}	7.7±0.07^{de}	7.4±0.09^{Abc}	7.7±0.11^{Cd}	7.7±0.11^{Acd}	7.3±0.18^{b}	6.9±0.14^{Aa}

หมายเหตุ : อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ที่ใช้ในแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %
อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่ใช้ในแนวนอนแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

แอมโมเนีย ไนโตรเจน

แอมโมเนีย ไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค 4 ชุดการทดลอง ทำการวัด 14 วัน/ครั้ง เป็นระยะเวลา 120 วัน (ภาพที่ 21) พบว่า ปริมาณแอมโมเนีย ไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค เฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.1-1.4 mg/l ปริมาณแอมโมเนีย ไนโตรเจน ในบ่อเลี้ยงปลานิลชุด Control มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด คือ 1.4±0.04 mg/l รองลงมาเป็นชุด SO ชุด FO และชุด SC ที่มีค่าใกล้เคียงกัน แนวโน้มของค่าแอมโมเนีย ไนโตรเจน หลังจากที่มีค่าแอมโมเนีย ไนโตรเจนที่สูงขึ้น หลังจากผ่านไป 2 สัปดาห์ พบว่าค่าแอมโมเนีย ไนโตรเจนในชุดการทดลอง SO FO และ SC มีค่าลดลง แต่ชุด Control พบว่ามีค่าแอมโมเนีย ไนโตรเจนเพิ่มสูงขึ้นและจะลดลงในเวลาต่อมา เมื่อวิเคราะห์ค่าทางสถิติ (ตารางที่ 22) พบว่า ค่าแอมโมเนีย ไนโตรเจนแต่ละครั้งที่เก็บตัวอย่างมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) และค่าแอมโมเนีย ไนโตรเจนในแต่ละชุดการทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)



ภาพที่ 21 แอมโมเนีย ไนโตรเจนในบ่อที่เลี้ยงปลานิลเสริมกรดไขมันในอาหารอินทรีย์ทั้ง 4 สูตรในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน

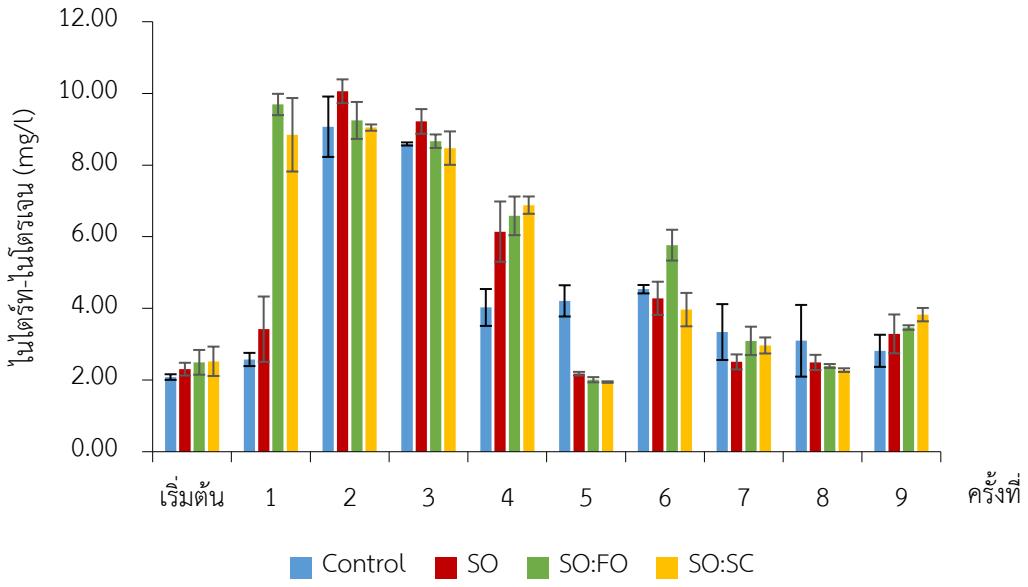
ตารางที่ 22 แอมโมเนีย ไนโตรเจนในบ่อที่เลี้ยงปลานิลเสริมกรดไขมันในอาหารอินทรีย์ทั้ง 4 สูตร ในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน

ครั้งที่ / ชุดการทดลอง	เริ่มต้น	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Control	1.2± 0.00^{Bd}	1.4±0.04^{Be}	0.08±0.08^{Bc}	0.7±0.07^{Bc}	0.4±0.02^{Bb}	0.2±0.01^{Ba}	0.2±0.06^{Ba}	0.3±0.01^{Ba}	0.2±0.06^{Ba}	0.3±0.004^{Ba}
SO	0.3±0.04^{Ac}	0.2±0.07^{Ab}	0.1±0.01^{Aa}	0.1±0.00^{Aa}	0.1±0.00^{Aa}	0.1±0.00^{Aa}	0.1±0.00^{Aa}	0.1±0.00^{Aa}	0.1±0.01^{Aa}	0.1±0.01^{Aa}
FO	0.3±0.00^{Ab}	0.1±0.05^{Aa}	0.1± 0.01^{Aa}	0.1±0.01^{Aa}	0.1±0.00^{Aa}	0.1±0.00^{Aa}	0.1±0.00^{Aa}	0.1±0.00^{Aa}	0.1±0.00^{Aa}	0.1±0.00^{Aa}
SC	0.3±0.01^{Ab}	0.6±0.03^{Aa}	0.3±0.00^{Aa}	0.1±0.00^{Aa}	0.1±0.00^{Aa}	0.1±0.00^{Aa}	0.1±0.01^{Aa}	0.1±0.14^{Aa}	0.1±0.00^{Aa}	0.1±0.01^{Aa}

หมายเหตุ : อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ที่ใช้ในแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %
อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่ใช้ในแนวนอนแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ไนไตรท์ ไนโตรเจน

ไนไตรท์ ไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค 4 ชุดการทดลอง ทำการวัด 14 วัน/ครั้ง เป็นระยะเวลา 120 วัน (ภาพที่ 22) พบว่า ไนไตรท์ ไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงปลานิลในระบบ ไบโอฟลอค เฉลี่ยอยู่ในช่วง 2.0-9.6 mg/l แนวโน้มค่าไนไตรท์ ไนโตรเจน พบว่า เริ่มต้นของการทดลองปริมาณค่าไนไตรท์ ไนโตรเจนมีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและเมื่อเวลาผ่านไป พบว่าครั้งที่ 3 ปริมาณไนไตรท์ ไนโตรเจนมีการลดลงจนสิ้นสุดการทดลอง เมื่อวิเคราะห์ค่าทางสถิติ (ตารางที่ 23) ค่าไนไตรท์ ไนโตรเจนในแต่ละครั้งที่เก็บตัวอย่างและค่าไนไตรท์ ไนโตรเจนในแต่ละชุดการทดลอง พบว่า ปริมาณไนไตรท์ ไนโตรเจนมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)



ภาพที่ 22 ไนไตรท์ ไนโตรเจนในบ่อที่เลี้ยงปลานิลเสริมกรดไขมันในอาหารอินทรีย์ทั้ง 4 สูตรในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน

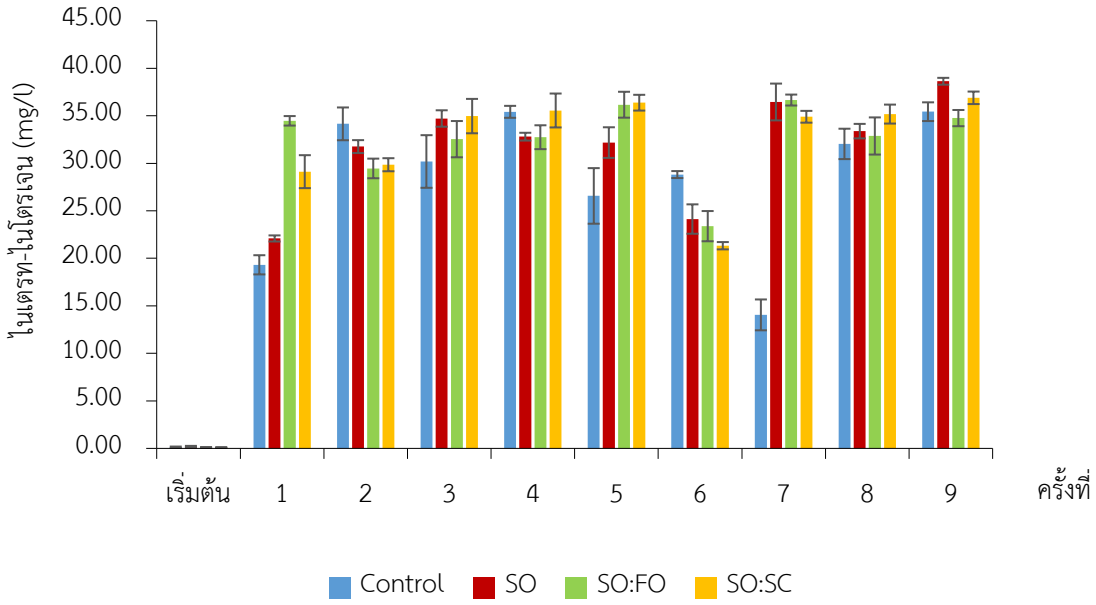
ตารางที่ 23 ไนไตรท์ ไนโตรเจนในบ่อที่เลี้ยงปลานิลเสริมกรดไขมันในอาหารอินทรีย์ทั้ง 4 สูตร ในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน

ครั้งที่ / ชุดการทดลอง	เริ่มต้น	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Control	2.0 ± 0.04^{a}	2.5 ± 0.10^{Aab}	9.0 ± 0.48^{f}	8.5 ± 0.02^{Af}	4.0 ± 0.29^{Acde}	4.2 ± 0.25^{Bde}	4.5 ± 0.06^{Ae}	3.3 ± 0.45^{bcd}	3.0 ± 0.57^{abc}	2.8 ± 0.25^{Aab}
SO	2.3 ± 0.10^{a}	3.4 ± 0.52^{Ab}	10.0 ± 0.19^{e}	9.2 ± 0.19^{Be}	6.1 ± 0.48^{Bd}	2.1 ± 0.02^{Aa}	4.2 ± 0.26^{Ac}	2.5 ± 0.12^{ab}	2.4 ± 0.12^{ab}	3.2 ± 0.31^{ABb}
FO	2.4 ± 0.19^{a}	9.6 ± 0.17^{Bc}	9.2 ± 0.10^{c}	8.6 ± 0.10^{ABc}	6.5 ± 0.31^{Bb}	2.0 ± 0.04^{Aab}	5.7 ± 0.24^{Bab}	3.0 ± 0.22^{ab}	2.3 ± 0.03^{ab}	3.4 ± 0.03^{ABab}
SC	2.5 ± 0.23^{ab}	8.8 ± 0.59^{Be}	9.0 ± 0.26^{e}	8.4 ± 0.26^{Ae}	6.8 ± 0.13^{Bd}	1.9 ± 0.01^{Aa}	3.9 ± 0.26^{Ac}	2.9 ± 0.12^{b}	2.2 ± 0.02^{ab}	3.8 ± 0.10^{Cc}

หมายเหตุ : อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ที่ใช้ในแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %
อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่ใช้ในแนวนอนแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ไนเตรท ไนโตรเจน

ไนเตรท ไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค 4 ชุดการทดลอง ทำการวัด 14 วัน/ครั้ง เป็นระยะเวลา 120 วัน (ภาพที่ 23) พบว่า ไนเตรท ไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงปลานิลในระบบ ไบโอฟลอค เฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.1-36.8 mg/l แนวโน้มของปริมาณไนเตรท ไนโตรเจน พบว่าเมื่อเริ่มต้นการทดลองปริมาณไนเตรท ไนโตรเจน มีค่าต่ำที่สุด ในครั้งที่ 1 และเมื่อเวลาผ่านไป พบว่าค่าไนเตรทไนโตรเจนมีค่าสูงขึ้น จนสิ้นสุดการทดลอง เมื่อวิเคราะห์ค่าทางสถิติ (ตารางที่ 24) ค่าไนเตรท ไนโตรเจนในแต่ละครั้งที่เก็บตัวอย่างมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) และค่า ไนเตรท ไนโตรเจนในแต่ละชุดการทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)



ภาพที่ 23 ไนเตรท ไนโตรเจนในบ่อที่เลี้ยงปลานิลเสริมกรดไขมันในอาหารอินทรีย์ทั้ง 4 สูตร ในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน

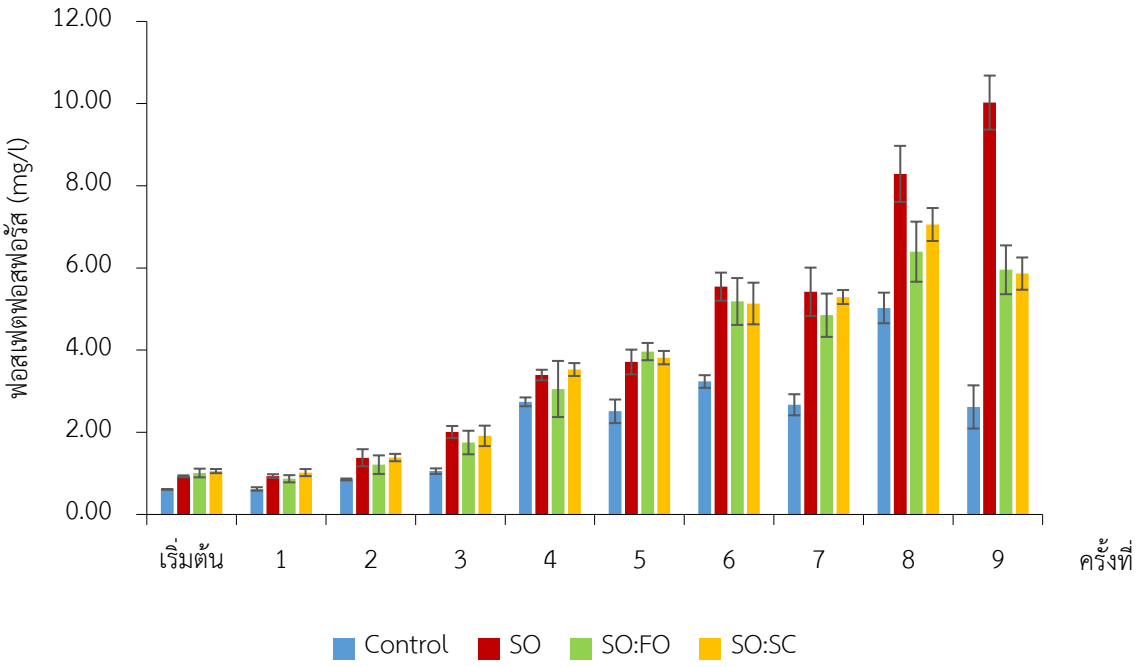
ตารางที่ 24 ไนเตรท ไนโตรเจนในบ่อที่เลี้ยงปลานิลเสริมกรดไขมันในอาหารอินทรีย์ทั้ง 4 สูตร ในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน

ครั้งที่ / ชุดการทดลอง	เริ่มต้น	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Control	0.1 ± 0.05^{a}	19.3 ± 0.58^{Ac}	34.1 ± 0.19^{Bgf}	30.1 ± 0.19^{Aef}	35.4 ± 0.36^{Bf}	26.5 ± 0.24^{Ad}	28.8 ± 0.21^{Cde}	14.0 ± 0.37^{Ab}	32.0 ± 0.23^{Afg}	35.4 ± 0.56^{Af}
SO	0.2 ± 0.05^{a}	22.0 ± 0.18^{Bb}	31.7 ± 0.19^{Cd}	24.7 ± 0.49^{Bef}	32.8 ± 0.23^{Ad}	32.1 ± 0.29^{Bd}	24.1 ± 0.29^{Bc}	36.4 ± 0.11^{Bf}	33.3 ± 0.41^{ABde}	38.6 ± 0.20^{Cg}
FO	0.1 ± 0.03^{a}	34.4 ± 0.28^{Cde}	29.4 ± 0.19^{Ac}	32.5 ± 0.10^{ABd}	32.7 ± 0.25^{Ad}	36.1 ± 0.28^{Ce}	23.3 ± 0.18^{ABd}	36.6 ± 0.23^{Be}	32.8 ± 0.12^{ABd}	34.7 ± 0.49^{Ade}
SC	0.1 ± 0.02^{a}	29.1 ± 0.10^{Dc}	29.8 ± 0.19^{ABc}	34.9 ± 0.14^{Bd}	35.5 ± 0.29^{Bd}	36.3 ± 0.12^{Cd}	21.3 ± 0.22^{Ab}	34.8 ± 0.35^{Ab}	35.1 ± 0.15^{Bd}	36.8 ± 0.38^{Bd}

หมายเหตุ : อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ที่ใช้ในแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %
อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่ใช้ในแนวนอนแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ฟอสเฟต ฟอสฟอรัส

ฟอสเฟต ฟอสฟอรัสในบ่อเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค 4 ชุดการทดลอง ทำการวัด 14 วัน/ครั้ง เป็นระยะเวลา 120 วัน (ภาพที่ 24) พบว่า ปริมาณฟอสเฟตฟอสฟอรัสในบ่อเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค เฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.6-10.0 mg/l ในช่วงแรกของการเลี้ยงปริมาณฟอสเฟตฟอสฟอรัสมีค่าต่ำที่สุด เมื่อระยะเวลาผ่านไป ปริมาณฟอสเฟตฟอสฟอรัสมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นในทุกชุดการทดลอง เมื่อวิเคราะห์ค่าทางสถิติ (ตารางที่ 25) พบว่า ฟอสเฟต ฟอสฟอรัสในแต่ละครั้งที่เก็บตัวอย่างและปริมาณฟอสเฟต ฟอสฟอรัสในแต่ละชุดการทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)



ภาพที่ 24 ฟอสเฟต ฟอสฟอรัสในบ่อที่เลี้ยงปลานิลเสริมกรดไขมันในอาหารอินทรีย์ทั้ง 4 สูตรในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน

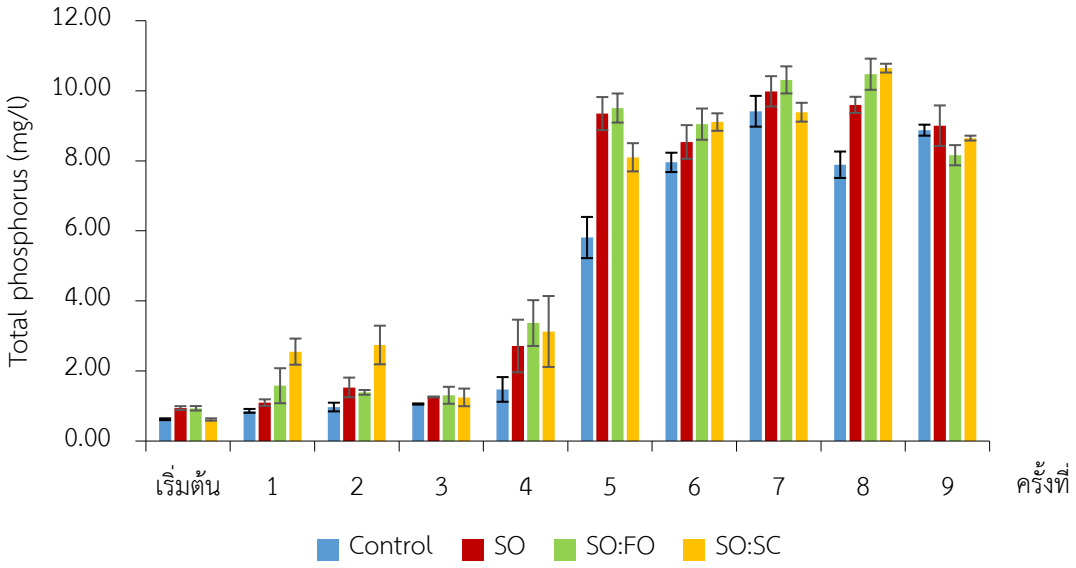
ตารางที่ 25 ฟอสเฟต ฟอสฟอรัสในบ่อที่เลี้ยงปลานิลเสริมกรดไขมันในอาหารอินทรีย์ทั้ง 4 สูตร ในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน

ครั้งที่ / ชุดการทดลอง	เริ่มต้น	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Control	0.6 ± 0.00^{Aa}	0.6 ± 0.02^{Aa}	0.8 ± 0.01^{Aa}	1.0 ± 0.03^{Aa}	2.7 ± 0.06^{Ab}	2.5 ± 0.16^{Ab}	3.2 ± 0.08^{Ac}	2.6 ± 0.14^{Ab}	5.0 ± 0.21^{Ad}	2.6 ± 0.30^{Ab}
SO	0.9 ± 0.01^{Ba}	0.9 ± 0.02^{BCa}	1.3 ± 0.12^{Ba}	2.0 ± 0.08^{Bb}	3.3 ± 0.07^{ABc}	3.7 ± 0.17^{Bc}	5.4 ± 0.19^{Bd}	5.4 ± 0.34^{Bd}	8.2 ± 0.39^{Ce}	10.0 ± 0.38^{Ce}
FO	1.0 ± 0.06^{BCab}	0.8 ± 0.05^{Ba}	1.2 ± 0.13^{Bab}	1.7 ± 0.16^{Bb}	3.0 ± 0.39^{ABc}	3.9 ± 0.12^{Bd}	5.1 ± 0.32^{Bef}	4.8 ± 0.30^{Be}	6.3 ± 0.42^{Bg}	5.9 ± 0.34^{Bgf}
SC	1.0 ± 0.02^{Ca}	1.0 ± 0.04^{Ca}	1.3 ± 0.05^{Ba}	1.9 ± 0.14^{Bb}	3.5 ± 0.09^{Bc}	3.8 ± 0.09^{Bc}	5.1 ± 0.29^{Bd}	5.2 ± 0.09^{Bd}	7.0 ± 0.23^{Bf}	5.8 ± 0.22^{Be}

หมายเหตุ : อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ที่ใช้ในแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %
อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่ใช้ในแนวนอนแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ฟอสฟอรัสรวม

ฟอสฟอรัสรวมในบ่อเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค 4 ชุดการทดลอง ทำการวัด 14 วัน/ครั้ง เป็นระยะเวลา 120 วัน (ภาพที่ 25) พบว่า ฟอสฟอรัสรวมในบ่อเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค เฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.6-10.3 mg/l เมื่อเริ่มต้นการเลี้ยงปริมาณฟอสฟอรัสรวมมีค่าที่ต่ำที่สุด และเมื่อระยะเวลาผ่านไป พบว่า ค่าฟอสฟอรัสรวมมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นในทุกชุดการทดลอง เมื่อวิเคราะห์ค่าทางสถิติ (ตารางที่ 26) ปริมาณฟอสฟอรัสรวมในแต่ละครั้งที่เก็บตัวอย่าง มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เช่นเดียวกับค่าฟอสฟอรัสรวมในแต่ละชุดการทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)



ภาพที่ 25 ฟอสฟอรัสรวมในบ่อที่เลี้ยงปลานิลเสริมกรดไขมันในอาหารอินทรีย์ทั้ง 4 สูตร ในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน

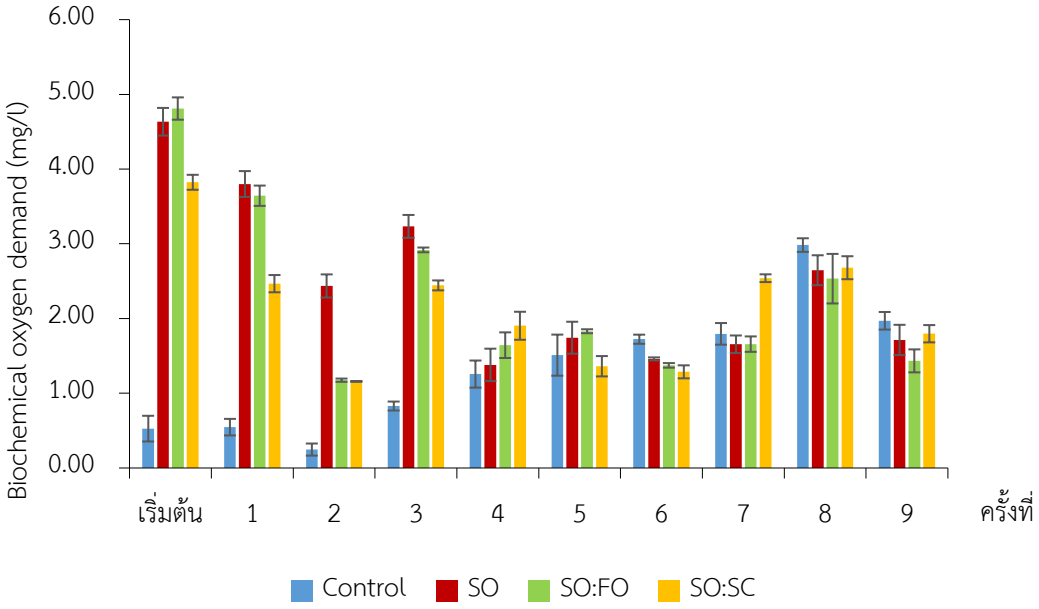
ตารางที่ 26 ฟอสฟอรัสรวมในบ่อที่เลี้ยงปลานิลเสริมกรดไขมันในอาหารอินทรีย์ทั้ง 4 สูตร ในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน

ครั้งที่ / ชุดการทดลอง	เริ่มต้น	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Control	0.6 ± 0.01^{Aa}	0.8 ± 0.03^{Aa}	0.9 ± 0.07^{Aab}	1.0 ± 0.01^{Aab}	1.4 ± 0.33^{Ab}	5.8 ± 0.33^{Ac}	7.9 ± 0.15^{Ad}	9.4 ± 0.25^{Af}	7.8 ± 0.21^{Ad}	8.8 ± 0.09^{Be}
SO	0.9 ± 0.03^{Bs}	1.0 ± 0.05^{Aba}	1.5 ± 0.16^{Aa}	1.2 ± 0.01^{Aa}	2.7 ± 0.27^{ABb}	9.3 ± 0.27^{Cdef}	8.5 ± 0.27^{Ac}	9.9 ± 0.24^{ABf}	9.5 ± 0.13^{Bef}	9.0 ± 0.33^{Bcd}
FO	0.9 ± 0.03^{Ba}	1.5 ± 0.28^{Ba}	1.3 ± 0.03^{Aa}	1.3 ± 0.13^{Aa}	3.3 ± 0.23^{Cb}	9.5 ± 0.23^{Cd}	9.0 ± 0.25^{Bd}	10.3 ± 0.22^{Be}	10.4 ± 0.25^{Be}	8.1 ± 0.16^{Ac}
SC	0.6 ± 0.01^{Aa}	2.5 ± 0.21^{Cd}	2.7 ± 0.31^{Bb}	1.2 ± 0.14^{Aa}	3.1 ± 0.23^{Cb}	8.1 ± 0.23^{Bc}	9.1 ± 0.14^{Bd}	9.3 ± 0.15^{Ad}	10.6 ± 0.07^{Ad}	8.6 ± 0.04^{ABcd}

หมายเหตุ : อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ที่ใช้ในแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %
อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่ใช้ในแนวนอนแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

Biochemical oxygen demand (BOD)

ปริมาณ BOD ในบ่อเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค 4 ชุดการทดลอง ทำการวัด 14 วัน/ครั้ง เป็นระยะเวลา 120 วัน (ภาพที่ 26) พบว่า ปริมาณ BOD ในบ่อเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค เฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.2-4.6 mg/l เมื่อเริ่มต้นการทดลองค่า BOD ในชุดการทดลอง SO FO และ SC มีค่าสูง แต่ชุด Control ต่ำ ในระหว่างการทดลอง พบว่า ชุดการทดลอง SO FO และSC มีค่าลดลง จนสิ้นสุดการทดลองและชุดการทดลอง Control มีค่าเพิ่มขึ้นจนสิ้นสุดการทดลอง เมื่อวิเคราะห์ค่าทางสถิติ (ตารางที่ 27) ปริมาณ BOD ในแต่ละครั้งที่เก็บตัวอย่างและค่า BOD ในแต่ละชุดการทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)



ภาพที่ 26 Biochemical oxygen demand ในบ่อที่เลี้ยงปลานิลเสริมกรดไขมันในอาหารอินทรีย์ทั้ง 4 สูตรในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน

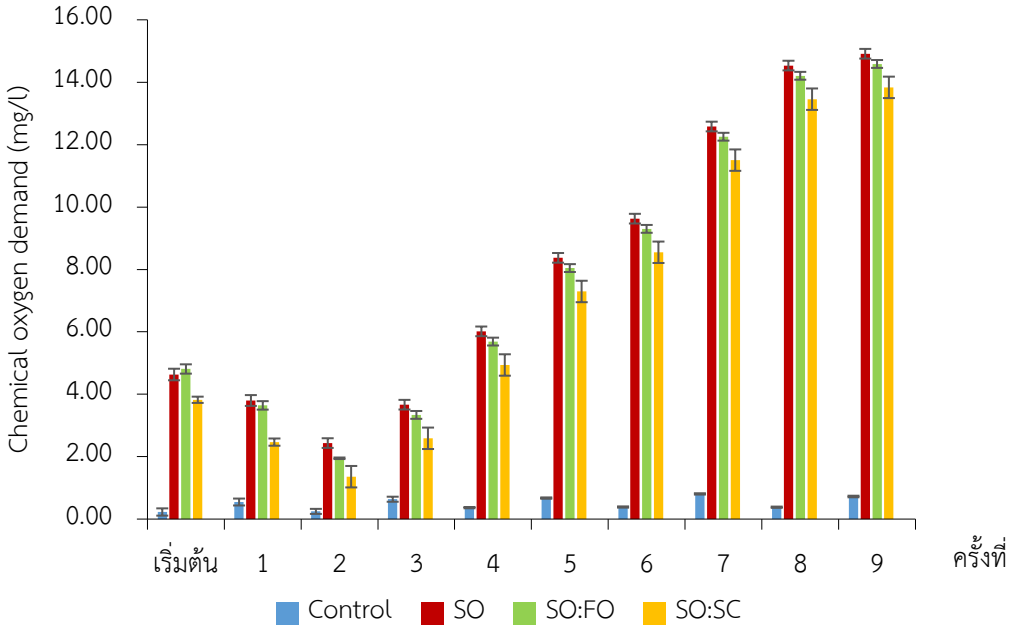
ตารางที่ 27 Biochemical oxygen demand ในบ่อที่เลี้ยงปลานิลเสริมกรดไขมันในอาหารอินทรีย์ทั้ง 4 สูตร ในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน

ครั้งที่ / ชุดการทดลอง	เริ่มต้น	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Control	0.5 ± 0.09^{Aab}	0.5 ± 0.06^{Aab}	0.2 ± 0.04^{Aa}	0.8 ± 0.03^{Abc}	1.2 ± 0.10^{Acd}	1.5 ± 0.15^{ABde}	1.7 ± 0.03^{Cdef}	1.7 ± 0.08^{Afg}	2.9 ± 0.05^{Bg}	1.9 ± 0.06^{Befg}
SO	4.6 ± 0.10^{Cf}	3.8 ± 0.10^{Ce}	2.4 ± 0.09^{Cc}	3.2 ± 0.08^{Dd}	1.3 ± 0.08^{ABa}	1.7 ± 0.12^{Bb}	1.4 ± 0.01^{Bab}	1.6 ± 0.06^{Aab}	2.6 ± 0.11^{ABc}	1.7 ± 0.11^{ABb}
FO	4.8 ± 0.08^{Cg}	3.6 ± 0.07^{Cf}	1.1 ± 0.01^{Ba}	2.9 ± 0.02^{Ce}	1.6 ± 0.09^{BCbc}	$1.8.\pm0.01^{Bc}$	1.3 ± 0.01^{Aba}	1.6 ± 0.06^{Abc}	2.5 ± 0.19^{Ad}	1.4 ± 0.08^{Aab}
SC	3.8 ± 0.05^{Bf}	2.4 ± 0.06^{Bd}	1.1 ± 0.00^{Ba}	2.4 ± 0.03^{Bd}	1.9 ± 0.10^{Cc}	1.3 ± 0.07^{Ab}	1.2 ± 0.05^{Aab}	2.5 ± 0.03^{Bde}	2.6 ± 0.08^{ABe}	1.7 ± 0.06^{Bc}

หมายเหตุ : อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ที่ใช้ในแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %
อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่ใช้ในแนวนอนแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

Chemical oxygen demand

ปริมาณ COD ในบ่อเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค 4 ชุดการทดลอง ทำการวัด 14 วัน/ครั้ง เป็นระยะเวลา 120 วัน (ภาพที่ 27) พบว่า ค่าปริมาณ COD ในบ่อเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค เฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.2-14.9 mg/l ปริมาณ COD เมื่อเริ่มต้นการทดลอง ชุดการทดลอง SO FO และ SC มีค่าที่สูง แต่มีการลดลงในครั้งที่ 3 และมีการเพิ่มขึ้นจนสิ้นสุดการทดลองในชุดการทดลอง Control มีค่าปริมาณ COD คงที่จนสิ้นสุดการทดลอง เมื่อวิเคราะห์ค่าทางสถิติ (ตารางที่ 28) ปริมาณ COD ในแต่ละครั้งที่เก็บตัวอย่างและค่า COD ในแต่ละชุดการทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)



ภาพที่ 27 Chemical oxygen demand ในบ่อที่เลี้ยงปลานิลเสริมกรดไขมันในอาหารอินทรีย์ทั้ง 4 สูตรในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน

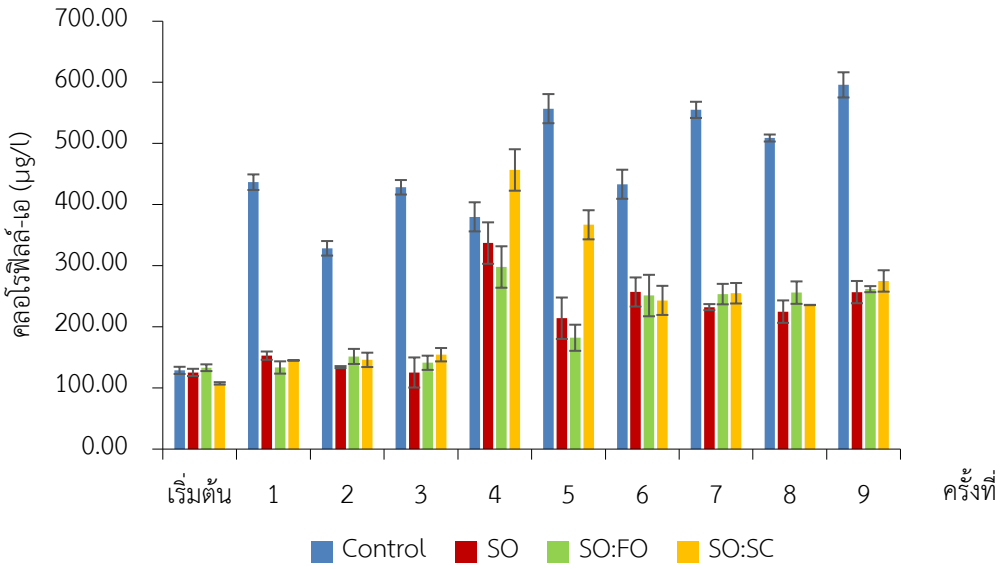
ตารางที่ 28 Chemical oxygen demand ในบ่อที่เลี้ยงปลานิลเสริมกรดไขมันในอาหารอินทรีย์ทั้ง 4 สูตร ในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน

ครั้งที่ / ชุดการทดลอง	เริ่มต้น	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Control	0.2± 0.06^{Aa}	0.5±0.06^{Ac}	0.2±0.04^{Aa}	0.6±0.04^{Acd}	3.0±0.01^{Ab}	0.6±0.01^{Ad}	0.3±0.01^{Ab}	0.08±0.01^{Ae}	0.3±0.01^{Ab}	0.7±0.01^{Ade}
SO	4.6±0.10^{Cc}	3.8±0.10^{Cb}	2.4±0.09^{Da}	3.6±0.09^{Cb}	6.0±0.09^{Cd}	8.3±0.08^{Ce}	9.6±0.09^{Cf}	12.5±0.08^{Cg}	14.5±0.09^{Ch}	14.9±0.08^{Ci}
FO	4.8±0.08^{Cd}	3.6±0.07^{Cc}	1.9± 0.01^{Ca}	3.3±0.07^{Cb}	5.6±0.07^{Ce}	8.0±0.07^{Cf}	9.3±0.07^{Cg}	12.2±0.07^{Ch}	14.2±0.07^{Ci}	14.5±0.07^{Cj}
SC	3.8±0.05^{Bc}	2.4±0.06^{Bb}	1.3±0.20^{Ba}	2.5±0.20^{Bb}	4.94±0.20^{Bd}	7.2±0.19^{Be}	8.5±0.20^{Bf}	11.5±0.19^{Bi}	13.4±0.19^{Bj}	13.8±0.19^{Bj}

หมายเหตุ : อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ที่ใช้ในแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %
อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่ใช้ในแนวนอนแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

คลอโรฟิลล์-เอ

คลอโรฟิลล์-เอในบ่อเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค 4 ชุดการทดลอง ทำการวัด 14 วัน/ครั้ง เป็นระยะเวลา 120 วัน (ภาพที่ 28) พบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอในบ่อเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค เฉลี่ยอยู่ในช่วง 107.0-678 µg/l คลอโรฟิลล์-เอในบ่อเลี้ยงปลานิลชุด Control มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด คือ 628.3 µg/l ในชุด Control ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น จนสิ้นสุดการทดลอง เมื่อวิเคราะห์ค่าทางสถิติ (ตารางที่ 29) ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ ในแต่ละครั้งที่เก็บตัวอย่างและค่าปริมาณคลอโรฟิลล์-เอในแต่ละชุดการทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)



ภาพที่ 28 คลอโรฟิลล์-เอในบ่อที่เลี้ยงปลานิลเสริมกรดไขมันในอาหารอินทรีย์ทั้ง 4 สูตร ในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน

ตารางที่ 29 คลอโรฟิลล์-เอในบ่อที่เลี้ยงปลานิลเสริมกรดไขมันในอาหารอินทรีย์ทั้ง 4 สูตร ในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน

ครั้งที่ / ชุดการทดลอง	เริ่มต้น	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Control	128.7±3.38^{Ba}	436.6±7.35^{Cd}	328.5±6.87^{Bb}	428.3±6.83^{Bd}	379.9±3.75^{Bc}	556.9±3.75^{Cf}	433.2±3.75^{Bh}	555.0±7.63^{Bh}	508.9±3.31^{Ce}	595.8±1.90^{Bg}
SO	125.4±3.40^{Ba}	152.2±3.91^{Ba}	134.0±0.97 ^{Aa}	125.3±4.22^{Aa}	337.0±9.58^{Abd}	214.0±9.58^{Ab}	257.0±3.75^{Ac}	232.2±2.86^{Abc}	224.9±1.60^{Abc}	256.8±1.50^{Ac}
FO	133.1±3.18^{Ba}	133.5±5.80^{Aa}	151.5±7.11^{Aab}	141.2±6.72^{Aa}	297.9±9.58^{Ad}	182.1±3.34^{Ab}	251.2±9.58^{Ac}	253.5±9.65^{Ac}	256.0±1.59^{Bc}	261.6±2.84^{Ac}
SC	107.0±1.13^{Aa}	145.9±0.37^{Abb}	145.9±6.78 ^{Ab}	154.4±6.31^{Ab}	456.6±9.58^{Cf}	366.9±3.75^{Be}	243.2±3.73^{Acd}	254.9±9.68^{Acd}	253.7±0.13^{ABc}	275.1±1.10^{Ad}

หมายเหตุ : อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ที่ใช้ในแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %
อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่ใช้ในแนวนอนแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ 30 คุณภาพน้ำในบ่อที่เลี้ยงปลานิลเสริมกรดไขมันในอาหารอินทรีย์ทั้ง 4 สูตร ในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน

คุณสมบัติต่างๆของน้ำ	ชุดควบคุม (Control)	อาหารอินทรีย์ (SO)	อาหารอินทรีย์ผสมน้ำมันปลา (SO:FO)	อาหารอินทรีย์ผสมสาหร่าย (SC)
อุณหภูมิอากาศ (°C)	24.0 - 36.0	24.0 - 36.0	24.0 - 36.0	24.0 - 36.0
อุณหภูมิน้ำ (°C)	21.6 – 26.1	21.6 – 26.1	21.6 – 26.3	21.6 – 26.1
ของแขวนลอยทั้งหมด (mg/l)	0.01 - 0.07	0.15 - 0.71	0.19 – 0.71	0.18 – 0.64
ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (mg/l)	0.01 – 0.02	0.08 – 0.29	0.08 – 0.34	0.08 – 0.33
สารที่สามารถตกตะกอนทั้งหมด (ml/l)	0.8 – 6.1	13.0 – 30.3	12.4 – 29.6	10.5 – 29.3
ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (mg/l)	6.5 – 9.5	6.8 – 9.4	5.5 – 8.7	5.8 – 9.7
ค่าความเป็น กรด-ด่าง (pH)	7.5 – 8.1	6.9 – 8.1	7.4 – 8.2	6.4 – 8.0
แอมโมเนีย ไนโตรเจน (mg/l)	0.2 – 1.4	0.1 - 0.3	0.1 – 0.3	0.1 – 0.3
ไนไตรท์ ไนโตรเจน (mg/l)	2.0 – 9.0	2.1 – 10.0	2.0 – 9.2	1.9 – 9.0
ไนเตรท ไนโตรเจน (mg/l)	0.1 – 35.4	0.2 – 38.6	0.1 – 36.1	0.1 – 36.8
ออร์โธฟอสเฟตฟอสฟอรัส (mg/l)	0.6 – 5.0	0.9 – 10.0	1.0 – 6.3	1.0 – 7.0
ฟอสฟอรัสรวม (mg/l)	0.6 – 9.4	0.9 – 9.9	0.9 – 10.4	0.6 – 10.6
Biochemical oxygen demand (mg/l)	0.5 – 2.9	1.3 – 4.6	1.3 – 4.8	1.2 – 3.8
Chemical oxygen demand (mg/l)	0.2 – 0.8	2.4 – 14.9	1.9 – 14.5	1.3 – 13.8
คลอโรฟิลล์-เอ (µg/l)	128.7 - 595.8	125.3 – 337.0	133.1 – 297.9	107.0 – 456.6

2.3 ปัจจัยด้านองค์ประกอบทางโภชนาการของสารอาหารรวมทั้งปริมาณกรดไขมัน

2.3.1 คุณค่าทางโภชนาการของอาหารปลา

ผลการศึกษาด้านองค์ประกอบทางโภชนาการของอาหาร ที่เสริมกรดไขมันโอเมก้า 3 ในระบบไบโอฟลอค โดยใช้อาหารอินทรีย์ที่มีการเพิ่มน้ำมันซึ่งเป็นแหล่งของกรดไขมันโอเมก้า 3 มีโปรตีนไม่ต่ำกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ และไขมันไม่ต่ำกว่า 9 เปอร์เซ็นต์ เลี้ยงเป็นระยะเวลา 120 วัน อัตราอาหารเม็ดที่ให้ตลอดการทดลอง 3 % ของน้ำหนักตัว จากนั้นนำเอาอาหารที่ใช้ในการทดลองไปตรวจสอบองค์ประกอบของคุณค่าทางโภชนาการของอาหารในแต่ละสูตร ตามสูตรอาหารปลาอินทรีย์ 4 สูตร คืออาหารควบคุม เลี้ยงปลานิลในระบบน้ำใส (Control), อาหารสูตรอินทรีย์ (SO), อาหารอินทรีย์ผสมกับน้ำมันปลา อัตราส่วน 1:1 (FO) และอาหารอินทรีย์ผสมกับสาหร่าย *Schizochytrium* sp. อัตราส่วน 1:1 (SC) พบว่า มีเปอร์เซ็นต์โปรตีน 26.2 ± 0.30, 26.6 ± 0.81 และ 26.7 ± 0.25 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 31) ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ซึ่งตรงตามเปอร์เซ็นต์โปรตีนที่ได้กำหนดไว้ข้างต้นว่าอาหารต้องมีโปรตีนไม่ต่ำกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ ไขมันในอาหารอินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง มีค่า 9.1 ± 0.00, 9.2 ± 0.05 และ 9.2 ± 0.12 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ตรงตามที่ได้กำหนดข้างต้นว่า ไขมันต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 9 เปอร์เซ็นต์ เถ้า มีค่า 7.3 ± 0.00, 7.8 ± 0.00 และ 8.1 ± 0.01 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เยื่อใย มีค่า 25.3 ± 0.01, 25.3 ± 0.01 และ 25.4 ± 0.01 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ความชื้น มีค่า 8.3 ± 0.01, 8.2 ± 0.01 และ 8.5 ± 0.01 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และ เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนฟรีเอกซ์แทรก (NFE) มีค่า 23.6 ± 0.09, 22.9± 0.10 และ 22.1 ± 0.04 เปอร์เซ็นต์ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) อาหารสูตร Control มีค่าเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนฟรีเอกซ์แทรกมากที่สุด

ตารางที่ 31 คุณค่าทางโภชนาการของอาหารอินทรีย์ที่เสริมกรดไขมันในอาหารอินทรีย์ทั้ง 4 สูตร เลี้ยงในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน (Mean ± SE)

	ชุดควบคุม (Control)	**อาหารอินทรีย์ผสมน้ำมันปลา (FO)**	**อาหารอินทรีย์ผสมสาหร่าย (SC)**
โปรตีน	26.2 ± 0.30	26.6 ± 0.81	26.7 ± 0.25
ไขมัน	9.1 ± 0.00	9.2 ± 0.05	9.2 ± 0.12
เถ้า	7.3 ± 0.00^{a}	7.8 ± 0.00^{c}	8.1 ± 0.01^{d}
เยื่อใย	25.3 ± 0.01^{a}	25.3 ± 0.01^{a}	25.4 ± 0.01^{b}
ความชื้น	8.3 ± 0.01^{b}	8.2 ± 0.01^{a}	8.5 ± 0.01^{c}
NFE	23.6 ± 0.09^{c}	22.9± 0.10^{b}	22.1 ± 0.04^{a}

หมายเหตุ : อักษรภาษาอังกฤษที่ใช้ในแนวนอนแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

2.3.2 คุณค่าทางโภชนาการของเนื้อปลานิล

คุณค่าทางโภชนาการของเนื้อปลาหลังจากการเสริมกรดโอเมก้า 3

ผลการศึกษาด้านองค์ประกอบทางโภชนาการของเนื้อปลาที่เสริมกรดไขมันโอเมก้า 3 ที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอค โดยใช้อาหารสำเร็จรูปที่มีการเพิ่มน้ำมันซึ่งเป็นแหล่งของกรดไขมันโอเมก้า 3 มี โปรตีนไม่ต่ำกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ และไขมันไม่ต่ำกว่า 9 เปอร์เซ็นต์ อัตราอาหารเม็ดที่ให้ตลอดการทดลอง 3 % ของน้ำหนักตัว เลี้ยงเป็นระยะเวลา 120 วัน จากนั้นนำเนื้อปลาไปตรวจสอบองค์ประกอบของคุณค่าทางโภชนาการในเนื้อปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารแต่ละสูตร 4 สูตร คืออาหารควบคุม เลี้ยงปลานิลในระบบน้ำใส (Control), อาหารสูตรอินทรีย์ (SO), อาหารอินทรีย์ผสมกับน้ำมันปลา (SO:FO) อัตราส่วน 1:1 และอาหารอินทรีย์ผสมกับสาหร่าย *Schizochytrium* sp. อัตราส่วน 1:1 (SC) จากการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของเนื้อปลา (ตารางที่ 30) พบว่า เนื้อปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร FO และอาหารสูตร SC มีเปอร์เซ็นต์โปรตีนในเนื้อปลาสูงที่สุด (52.6±0.01) เปอร์เซ็นต์ไขมันอาหารสูตร FO มีเปอร์เซ็นต์ไขมันในเนื้อสูงที่สุด (10.6±0.00) เปอร์เซ็นต์เถ้า ในชุดการทดลองSC มีค่าสูงที่สุด (6.2±0.01) เปอร์เซ็นต์เยื่อใย พบว่า ชุดการทดลอง SO มีค่าสูงที่สุด (5.5±0.00) เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนฟรีเอกซ์แทรก (NFE) ที่พบว่ามีค่าสูงสุดในชุดการทดลอง Control (17.4±0.05) ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 32 คุณค่าทางโภชนาการของเนื้อปลานิลที่เสริมกรดไขมันในอาหารอินทรีย์ทั้ง 4 สูตรเลี้ยงในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน (Mean ± SE)

	ชุดควบคุม (Control)	อาหารอินทรีย์ (SO)	อาหารอินทรีย์ผสมน้ำมันปลา (FO)	อาหารอินทรีย์ผสมสาหร่าย (SC)
โปรตีน	50.4 ± 0.04^{a}	52.0 ± 0.03^{b}	52.6 ± 0.01^{c}	52.6 ± 0.01^{c}
ไขมัน	6.9 ± 0.01^{b}	6.5 ± 0.01^{a}	10.6 ± 0.00^{d}	10.2 ± 0.00^{c}
เถ้า	4.5 ± 0.00^{a}	4.6 ± 0.01^{b}	5.2 ± 0.00^{c}	6.2 ± 0.01^{d}
เยื่อใย	5.2 ± 0.00^{a}	5.5 ± 0.00^{d}	5.3 ± 0.01^{b}	5.4 ± 0.03^{c}
ความชื้น	15.3 ± 0.02^{a}	15.6 ± 0.00^{c}	15.6 ± 0.01^{c}	15.4 ± 0.03^{b}
NFE	17.4 ± 0.05^{d}	15.5 ± 0.03^{c}	10.3 ± 0.01^{b}	9.9 ± 0.02^{a}

หมายเหตุ : อักษรภาษาอังกฤษที่ใช้ในแนวนอนแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ปริมาณกรดไขมันของอาหารปลาและเนื้อปลาที่เสริมด้วยกรดไขมันโอเมก้า-3

ผลการศึกษาปริมาณกรดไขมันของอาหารปลาและเนื้อปลาที่เสริมด้วยกรดไขมันโอเมก้า-3 ใช้อาหารอินทรีย์ที่มีการเพิ่มน้ำมันซึ่งเป็นแหล่งของกรดไขมันโอเมก้า-3 มี โปรตีนไม่ต่ำกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ และไขมันไม่ต่ำกว่า 9 เปอร์เซ็นต์ อัตราอาหารเม็ดที่ให้ตลอดการทดลอง 3 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว เลี้ยงเป็นระยะเวลา 120 วัน หลังจากนั้นนำอาหารและเนื้อปลาไปทำการวิเคราะห์กรดไขมัน ในอาหาร 4 สูตรคือ อาหารควบคุม เลี้ยงปลานิลในระบบน้ำใส (Control), อาหารสูตรอินทรีย์ (SO), อาหารอินทรีย์ผสมกับน้ำมันปลา อัตราส่วน 1:1 (SO:FO) และอาหารอินทรีย์ผสมกับสาหร่าย *Schizochytrium* sp. อัตราส่วน 1:1 (SC) จากการวิเคราะห์กรดไขมันในอาหารและเนื้อปลา ได้ผลดังนี้ องค์ประกอบของกรดไขมันในอาหารและเนื้อปลาที่มีการเสริมกรดไขมันโอเมก้า-3 โดยเลี้ยงในระบบไบโอฟลอค กรดไขมันในอาหารที่มีการเสริมกรดไขมันโอเมก้า-3 จากตารางที่ 31 พบว่า ในอาหารชุดการทดลอง FO มีปริมาณ DHA และ EPA ซึ่งเป็นส่วนประกอบของกรดไขมันโอเมก้า-3 สูงที่สุด (73.53 และ 92.63 มิลลิกรัม/กรัม) และในอาหารชุด ที่มีปริมาณกรดไขมันโอเมก้า-3 น้อยที่สุด คือ ชุดการทดลอง Control สำหรับเนื้อปลาที่ได้รับการเสริมกรดไขมันโอเมก้า-3 จากตารางที่ 31 เนื้อปลาที่ได้รับสูตรอาหารชุดการทดลอง FO สามารถเพิ่มปริมาณโอเมก้า-3 ในเนื้อปลามากที่สุด พบว่ามีปริมาณ DHA และ EPA สูงที่สุด (21.63 และ 91.08 มิลลิกรัม/กรัม) ในขณะที่เนื้อปลาในชุดการทดลองที่ชุด Control และชุดการทดลอง SO มีค่ากรดไขมันโอเมก้า-3 ในเนื้อต่ำที่สุด อย่างไรก็ตามสัดส่วนการให้น้ำมันปลาที่เหมาะสมจึงจะเพิ่มปริมาณโอเมก้า-3 ในเนื้อดีกว่าให้ร่วมกับ

น้ำมันชนิดอื่นและการเสริมกรดไขมันในอาหาร พบว่า การเสริมกรดไขมันโอเมก้า-3 ตั้งแต่เริ่มต้นการเลี้ยงมีการสะสมไขมันในเนื้อปลาได้ดีกว่าการเสริมกรดไขมันในช่วงสุดท้ายของการเลี้ยง

ตารางที่ 33 องค์ประกอบของกรดไขมันในอาหารและเนื้อปลาที่มีการเสริมกรดไขมันโอเมก้า-3 โดยเลี้ยงในระบบไบโอฟลอค

ปริมาณกรดไขมัน	เนื้อปลา				อาหารอินทรีย์		
(mg/g)	Control	SO	FO	SC	Control	FO	SC
C14:0	71.39	87.99	76.54	21.87	2.58	61.64	11.27
C16:0	714.44	774.61	641.47	224.92	94.72	604.46	380.85
C16:1 n-7	113.30	122.31	108.11	33.31	Tr	57.59	7.97
C16:2 n-4	12.40	Tr	Tr	4.51	Tr	2.54	6.40
C16:3 n-4	4.21	Tr	Tr	1.72	Tr	20.73	20.73
C18:0	279.79	278.40	238.39	95.32	35.68	220.76	148.54
C18:1 n-9	155.84	173.05	93.83	38.37	192.18	823.29	544.91
C18:1 n-7	90.84	93.79	85.41	29.10	Tr	827.36	28.63
C18:2 n-6	476.77	661.34	Tr	150.11	244.09	62.04	601.21
C18:3 n-4	35.29	Tr	Tr	11.19	Tr	827.37	Tr
C18:3 n-3	32.91	40.51	48.00	10.06	Tr	21.64	Tr
C18:4 n-3	3.31	46.52	26.54	18.73	20.56	74.27	11.77
C20:1 n-9	35.29	61.01	40.78	1.71	Tr	Tr	Tr
C20:3 n-3	Tr	7.28	55.97	2.15	Tr	21.64	22.27
C20:4 n-6	Tr	3.70	5.83	3.01	Tr	Tr	Tr
C20:4 n-3	Tr	10.59	6.62	2.75	Tr	2.91	12.52
C20:5 n-3	8.07	8.45	21.63	14.06	Tr	73.53	45.14
C22:5 n-3	10.31	10.86	30.38	3.66	Tr	11.37	4.01
C22:6 n-3	4.63	7.17	91.08	10.06	Tr	92.63	4.56
EPA	8.07	8.45	21.63	14.06	Tr	73.53	45.14
DHA	4.63	7.17	91.08	10.06	Tr	92.63	4.56

2.4 ปัจจัยด้านความหลากหลายและองค์ประกอบของไบโอฟลอค

จากการศึกษาด้านความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตในระบบไบโอฟลอคที่เลี้ยงปลานิลเสริมด้วยกรดไขมันโอเมก้า-3 ใช้อาหารสำเร็จรูปที่มีการเพิ่มน้ำมันซึ่งเป็นแหล่งของกรดไขมันโอเมก้า-3 มีโปรตีนไม่ต่ำกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ และไขมันไม่ต่ำกว่า 9 เปอร์เซ็นต์ เลี้ยงเป็นระยะเวลา 120 วัน ปัจจัยด้านความหลากหลายและองค์ประกอบของไบโอฟลอค ระหว่างเดือนธันวาคม 2561 ถึงเดือนเมษายน 2562 ในชุดการทดลอง 4 ชุด ได้แก่ อาหารควบคุมเลี้ยงในระบบน้ำใส (Control), อาหารสูตรอินทรีย์ (SO), อาหารอินทรีย์ผสมกับน้ำมันปลา (SO:FO) และอาหารอินทรีย์ผสมกับสาหร่าย *Schizochytrium* sp. (SC)

เมื่อแยกเป็นแต่ละชุดการทดลอง พบว่าชุดการทดลองอาหารควบคุม แพลงก์ตอนพืชเฉลี่ยที่พบในบ่อเลี้ยงปลานิลด้วยระบบน้ำใส (Control) เป็นระยะเวลา 4 เดือน พบแพลงก์ตอนพืชทั้งสิ้น 3 Division19 ชนิด (ตารางที่ 32) ในจำนวนนี้พบแพลงก์ตอนพืชใน Division Chlorophyta มากที่สุด จำนวน 5 ชนิด พบในบ่อปลานิลที่เลี้ยงในชุดควบคุม พบมากที่สุด ในเดือนมีนาคม ชนิดที่พบมากที่สุดคือ *Scenedesmus quadricauda* รองลงมาเป็น Division Bacillariophyta จำนวน 6 ชนิด พบมากที่สุดในเดือนธันวาคม ได้แก่ *Pinnularia* sp. และพบน้อยสุด เป็น Division Cyanophyta จำนวน 2 ชนิด พบเพียงแค่ในช่วงแรกของการทดลอง คือ เดือนธันวาคมและแพลงก์ตอนสัตว์ที่พบในชุดการทดลอง Control มีจำนวน 1 Phylum คือ Rotifera พบมี 4 ชนิด คือ *Trichocerca* sp., *Filiinia* sp., *Brachionus* sp. และ *Lecane* spp. (ตารางที่ 33) ชนิดที่พบมากที่สุด คือ *Lecane* sp. จะพบมากในเดือนมกราคม

ตารางที่ 34 ชนิดและปริมาณแพลงก์ตอนพืชที่พบในชุดควบคุม (Control) ที่เลี้ยงปลานิลในระบบน้ำใส ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน

ชนิดของแพลงก์ตอนพืช	จำนวนแพลงก์ตอนพืช (เซลล์ต่อมิลลิลิตร)								
	ธันวาคม	มกราคม		กุมภาพันธ์		มีนาคม		เมษายน	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Division Chlorophyta									
Ankistodesmus sp.	278	122	256	711	644	589	911	559	569
Monoraphidium arcuatum	22	22	167	33	-	-	-	-	-
Pediastrum simplex	22	44	289	133	378	155	-	-	-
Scenedesmus quadricauda	345	544	644	833	733	655	1267	927	1062
Staurastrum sp.	11	11	-	133	-	367	145	144	215
รวม	676	743	1356	1845	1755	1646	2332	1630	1846
Division Bacillariophyta									
Fragilaria crotonensis	-	-	56	-	11	-	-	-	-
Frustulia saxonica	-	-	-	-	22	11	-	-	-
Gyrosigma sp.	-	-	-	-	22	11	-	-	-
Navicula sp.	-	11	-	-	-	-	-	-	-
Nitzschia palea	11	45	67	22	17	11	22	33	22
Pinnularia sp.	644	56	22	-	-	-	-	-	-
รวม	655	112	145	22	72	33	22	33	22
Division Cyanophyta									
Anabaenopsis sp.	11	-	-	-	-	-	-	-	-
Arthrospira fusiformis	167	-	-	-	-	-	-	-	-
รวม	178	-	-	-	-	-	-	-	-

ตารางที่ 35 ชนิดและปริมาณของแพลงก์ตอนสัตว์ที่พบในชุดควบคุม (Control) ที่เลี้ยงปลานิลในระบบน้ำใส ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน

ชนิดของแพลงก์ตอนสัตว์	จำนวนแพลงก์ตอนสัตว์ (เซลล์ต่อมิลลิลิตร)								
	ธันวาคม	มกราคม		กุมภาพันธ์		มีนาคม		เมษายน	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Phylum Rotifera									
Brachionus sp.	-	-	-	-	11	22	-	-	11
Filinia sp.	-	-	-	11	33	55	45	55	33
Lecane sp.	11	133	-	-	-	33	67	45	55
Trichocerca sp.	-	-	11	89	-	-	-	-	-
รวม	11	133	11	100	45	100	111	100	99

ชุดการทดลองอาหารสูตร SO แพลงก์ตอนพืชเฉลี่ยที่พบในบ่อเลี้ยงปลานิลด้วยระบบไบโอฟลอค เป็นระยะเวลา 120 วัน พบแพลงก์ตอนพืชทั้งสิ้น 2 Division 14 ชนิด (ตารางที่ 34) ในจำนวนนี้พบแพลงก์ตอนพืชใน Division Chlorophyta มากที่สุด จำนวน 5 ชนิด ชนิดที่พบมากที่สุดคือ *Scenedesmus quadricauda* พบมากในเดือน มีนาคม รองลงมาเป็น Division Bacillariophyta จำนวน 9 ชนิด พบมาก ได้แก่ *Nitzschia palea* และแพลงก์ตอนสัตว์ที่พบในชุด SO ที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอค มีจำนวน 2 Phylum 4 ชนิด คือ Rotifera และ Protozoa

ตารางที่ 36 ชนิดและปริมาณของแพลงก์ตอนพืชที่พบในชุดอาหารสูตรอินทรีย์ (SO) ที่เลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน

ชนิดของแพลงก์ตอนพืช	จำนวนแพลงก์ตอนพืช (เซลล์ต่อมิลลิลิตร)								
	ธันวาคม	มกราคม		กุมภาพันธ์		มีนาคม		เมษายน	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Division Chlorophyta									
Ankistodesmus sp.	189	345	278	467	189	111	255	189	167
Crucigenia sp.	-	-	-	11	22	11	-	-	-
Monoraphidium arcuatum	200	11	11	-	-	-	22	-	-
Pediastrum simplex	-	11	145	33	-	11	22	33	22
Scenedesmus quadricauda	133	333	389	333	145	578	255	167	189
รวม	522	700	823	844	356	711	554	389	378
Division Bacillariophyta									
Aulacoseira sp.	233	-	-	-	-	-	-	-	-
Diploneis sp.	233	-	11	-	-	-	-	-	11
Frustulia saxonica	-	-	245	33	122	122	45	-	67
Gomphonema sp.	-	-	-	-	11	11	-	-	11
Nitzschia palea	-	11	445	33	45	45	45	45	33
Pinnularia sp.	78	55	55	-	22	22	22	-	11
Rhizosolenia sp.	45	-	-	-	-	-	-	-	-
Surirella sp.	-	-	-	22	-	-	-	-	-
Synedra ulna	-	-	-	11	-	11	-	-	-
รวม	589	66	756	99	200	211	112	45	133

ตารางที่ 37 ชนิดและปริมาณของแพลงก์ตอนสัตว์ที่พบในชุดอาหารอินทรีย์ (SO) ที่เลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอคเป็นระยะเวลา 120 วัน

ชนิดของแพลงก์ตอนสัตว์	จำนวนแพลงก์ตอนสัตว์ (เซลล์ต่อมิลลิลิตร)								
	ธันวาคม	มกราคม		กุมภาพันธ์		มีนาคม		เมษายน	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Phylum Rotifera									
Brachionus sp.	-	-	-	-	11	11	-	-	11
Filinia sp.	-	-	-	-	-	45	22	33	67
Lecane sp.	67	289	33	255	55	89	55	22	67
Testudinella sp.	-	-	-	-	-	33	55	55	45
Trichocerca sp.	-	89	22	22	-	11	22	-	-
รวม	67	378	55	277	66	189	154	110	190
Phylum Protozoa									
Paramecium sp.	-	-	-	45	33	33	55	33	45
รวม	-	-	-	45	33	33	55	33	45

ชุดการทดลองอาหารอินทรีย์ผสมน้ำมันปลา (FO) แพลงก์ตอนพืชเฉลี่ยที่พบในบ่อเลี้ยงปลานิลด้วยระบบไบโอฟลอคที่มีการเสริมกรดไขมัน ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน พบแพลงก์ตอนพืชทั้งสิ้น 4 Division 17 ชนิด (ตารางที่ 36) ในจำนวนนี้พบแพลงก์ตอนพืชใน Division Chlorophyta มากที่สุด จำนวน 4 ชนิด ชนิดที่พบมากที่สุดคือ *Scenedesmus quadricauda* พบมากในเดือนกุมภาพันธ์ รองลงมาเป็น Division Bacillariophyta จำนวน 10 ชนิด พบมาก ได้แก่ *Nitzschia palea* รองลงมาเป็น Division Cyanophyta และแพลงก์ตอนพืชที่พบน้อยที่สุดเป็น Division Chrysophyta และแพลงก์ตอนสัตว์ที่พบในชุดอาหารอินทรีย์ผสมน้ำมันปลา (FO) ที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอค มีจำนวน 2 Phylum 5 ชนิด คือ Rotifera และ Protozoa

ตารางที่ 38 ชนิดและปริมาณของแพลงก์ตอนพืชที่พบในชุดอาหารอินทรีย์ผสมน้ำมันปลา (FO) ที่เลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน

ชนิดของแพลงก์ตอนพืช	จำนวนแพลงก์ตอนพืช (เซลล์ต่อมิลลิลิตร)								
	ธันวาคม	มกราคม		กุมภาพันธ์		มีนาคม		เมษายน	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Division Chlorophyta									
Ankistrodesmus sp.	111	133	111	367	222	22	67	96	111
Monoraphidium arcuatum	147	-	56	-	-	-	-	-	-
Pediastrum simplex	-	45	11	-	-	-	-	-	-
Scenedesmus quadricauda	11	145	122	822	389	322	333	322	389
รวม	269	323	300	1189	611	344	400	418	500
Division Bacillariophyta									
Aulacoseira sp.	87	-	-	-	-	-	-	-	-
Craticula sp.	50	-	-	-	-	-	-	-	-
Diploneis sp.	-	-	33	-	-	-	-	-	-
Fragilaria crotonensis	-	11	-	-	-	-	-	-	-
Frustulia saxonica	-	56	33	-	-	122	-	-	-
Gyrosigma scalproides	333	-	-	-	-	-	-	-	-
Navicula sp.	-	-	11	-	-	-	-	-	-
Nitzschia palea	33	-	-	222	56	111	33	11	22
Pinnularia sp.	22	100	33	-	-	11	55	-	-
Synedra ulna	-	-	-	11	-	11	33	22	33
รวม	525	167	110	233	56	224	121	33	55
Division Cyanophyta									
Chroococcus sp.	22	100	33	-	11	55	-	11	22
Oscillatoria sp.	-	-	-	11	-	11	-33	-	11
รวม	22	100	33	11	11	66	33	11	33
Division Chrysophyta									
Synura flavus	22	-	-	-	-	-	-	-	-
รวม	22	-	-	-	-	-	-	-	-

ตารางที่ 37 ชนิดและปริมาณของแพลงก์ตอนสัตว์ที่พบในชุดอาหารอินทรีย์ผสมน้ำมันปลา (FO) เลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน

ชนิดของแพลงก์ตอนสัตว์	จำนวนแพลงก์ตอนสัตว์ (เซลล์ต่อมิลลิลิตร)								
	ธันวาคม	มกราคม		กุมภาพันธ์		มีนาคม		เมษายน	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Phylum Rotifera									
Filinia sp.	-	-	-	-	33	-	22	11	-
Lecane sp.	67	67	89	33	89	67	55	33	33
Testudinella sp.	-	-	-	-	-	33	33	22	22
Trichocerca sp.	22	11	55	22	-	-	-	11	-
รวม	89	78	144	55	122	100	110	77	55
Phylum Protozoa									
Paramecium sp.	-	67	78	67	78	33	55	55	45
รวม	-	67	78	67	78	33	55	55	45

ชุดการทดลองอาหารอินทรีย์ผสมสาหร่าย *Schizochytrium* sp. (SC) แพลงก์ตอนพืชเฉลี่ยที่พบในบ่อเลี้ยงปลานิลด้วยระบบไบโอฟลอคที่มีการเสริมกรดไขมัน เป็นระยะเวลา 120 วัน พบแพลงก์ตอนพืชทั้งสิ้น 3 Divosion 12 ชนิด (ตารางที่ 38) ในจำนวนนี้พบแพลงก์ตอนพืชใน Division Chlorophyta มากที่สุด จำนวน 4 ชนิด ชนิดที่พบมากที่สุดคือ *Scenedesmus quadricauda* พบมากในเดือน ธันวาคม รองลงมาเป็น Division Bacillariophyta จำนวน 8 ชนิด รองลงมาเป็น Division Cyanophyta และแพลงก์ตอนสัตว์ที่พบในชุดอาหารอินทรีย์ผสมสาหร่าย Schizochytrium sp. (SC) ที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอค มีจำนวน 2 ไฟลัม 5 ชนิด คือ Rotifera และ Protozoa

ตารางที่ 39 ชนิดและปริมาณของแพลงก์ตอนพืชที่พบในชุดอาหารอินทรีย์ผสมสาหร่าย Schizochytrium sp. (SC) ที่เลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลาเลี้ยง 120 วัน

ชนิดของแพลงก์ตอนพืช	จำนวนแพลงก์ตอนพืช (เซลล์ต่อมิลลิลิตร)								
	ธันวาคม	มกราคม		กุมภาพันธ์		มีนาคม		เมษายน	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Division Chlorophyta									
Ankistrodesmus sp.	289	267	211	145	189	122	333	248	167
Monoraphidium arcuatum	378	56	78	33	-	29	39	33	22
Pediastrum simplex	-	45	11	-	-	-	-	-	-
Scenedesmus quadricauda	111	189	133	200	167	311	833	333	389
รวม	775	557	433	378	356	462	1205	614	578
Division Bacillariophyta									
Aulacoseira sp.	11	-	-	-	-	-	-	-	-
Fragilaria crotonensis	-	78	56	89	89	33	22	22	22
Frustulia saxonica	378	-	-	-	-	-	-	-	-
Gomphonema sp.	311	245	11	33	-	-	-	11	22
Navicula sp.	-	11	78	200	200	89	67	33	33
Nitzschia palea	22	-	11	22	-	-	45	67	89
Surirella sp.	-	-	-	-	-	22	-	22	33
Synedra ulna	-	-	67	22	56	122	355	149	87
รวม	722	334	223	366	345	263	489	304	286
Division Cyanophyta									
Oscillatoria vizagapatensis	122	-	-	-	-	-	-	-	-
รวม	122	-	-	-	-	-	-	-	-

ตารางที่ 40 ชนิดและปริมาณของแพลงก์ตอนสัตว์ที่พบในชุดอาหารอินทรีย์ผสมสาหร่าย Schizochytrium sp. (SC) ที่เลี้ยงปลานิลใน ระบบไบโอฟลอค ระยะเวลา 120 วัน

ชนิดของแพลงก์ตอนสัตว์	จำนวนแพลงก์ตอนสัตว์ (เซลล์ต่อมิลลิลิตร)								
	ธันวาคม	มกราคม		กุมภาพันธ์		มีนาคม		เมษายน	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Phylum Rotifera									
Lecane sp.	22	33	78	22	278	100	45	45	33
Testudinella sp.	-	-	-	145	89	67	22	22	11
Trichocerca sp.	-	55	78	11	-	-	22	33	11
รวม	22	88	156	178	367	167	89	100	55
Phylum Protozoa									
Paramecium sp.	22	-	100	78	67	56	45	33	22
Euplotes sp.	22	-	-	-	-	-	-	-	-
รวม	44	-	100	78	67	56	45	33	22

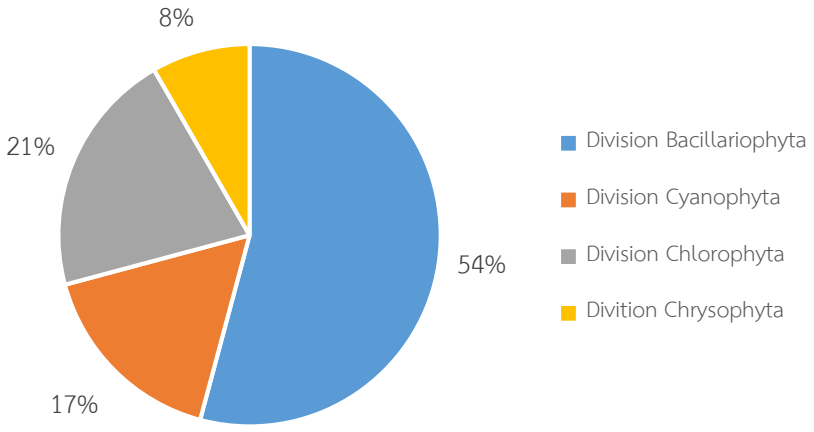
ตารางที่ 41 ชนิดและปริมาณแพลงก์ตอนพืชทั้งหมดที่พบในระบบไบโอฟลอคที่เลี้ยงปลานิลที่เสริมด้วยกรดไขมันโอเมก้า 3 ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน

ชนิดของแพลงก์ตอนพืช	จำนวนแพลงก์ตอนพืช (เซลล์/ลิตร)				
	ธันวาคม	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน
Division Chlorophyta					
Ankistrodesmus sp.	$86.7x10^4$	$172.2x10^4$	$293.5x10^4$	$263.2x10^4$	$200.8x10^4$
Monoraphidium arcuatum	$74.7x10^4$	$40.1x10^4$	$8.7x10^4$	$6.7x10^4$	$5.8x10^4$
Pediastrum simplex	$2.2x10^4$	$60.3x10^4$	$59.8x10^4$	$25.3x10^4$	$22.5x10^4$
Scenedesmus quadricauda	$60.0x10^4$	$106.7x10^4$	$218.9x10^4$	$455.4x10^4$	$400.7x10^4$
Staurastrum sp.	$1.1x10^4$	$1.1x10^4$	$13.3x10^4$	$51.2x10^4$	$52.9x10^4$
รวม	$224.7x10^4$	$380.4x10^4$	$594.2x10^4$	$801.8x10^4$	$682.7x10^4$
Division Bacillariophyta					
Aulacoseira sp.	$33.1x10^4$	-	-	-	-
Craticula sp.	$5.0x10^4$	-	-	-	-
Diploneis sp.	$22.3x10^4$	$4.4x10^4$	-	-	-
Fragilaria crotonensis	-	$20.1x10^4$	$31.1x10^4$	-	-
Frustulia saxonica	$37.8x10^4$	$33.4x10^4$	$29.9x10^4$	$5.6x10^4$	$5.0x10^4$
Gomphonema sp.	$31.1x10^4$	$25.6x10^4$	$1.1 x10^4$	-	-
Gyrosigma sp.	$33.3x10^4$	-	-	-	-
Navicula sp.	-	$11.1x10^4$	$32.5x10^4$	$7.2x10^4$	$5.2x10^4$
Nitzschia palea	$6.6x10^4$	$57.9x10^4$	$41.7x10^4$	$31.2 x10^4$	$16.2 x10^4$
Pinnularia sp.	$76.5 x10^4$	$32.1 x10^4$	$3.3 x10^4$	$7.7 x10^4$	$6.8 x10^4$
Rhizosolenia sp.	$4.5 x10^4$	-	-	-	-
Surirella sp.	-	-	$3.2 x10^4$	$2.7 x10^4$	$1.5 x10^4$
Synedra ulna	-	$6.7 x10^4$	$10.0 x10^4$	$52.1 x10^4$	$25.9 x10^4$
รวม	$250.2x10^4$	$191.3x10^4$	$152.8x10^4$	$106.5x10^4$	$107.4x10^4$

ตารางที่ 41 ชนิดและปริมาณของแพลงก์ตอนพืชทั้งหมดที่พบในระบบไบโอฟลอคที่เลี้ยงปลานิลที่เสริมด้วยกรดไขมันโอเมก้า 3 (ต่อ...)

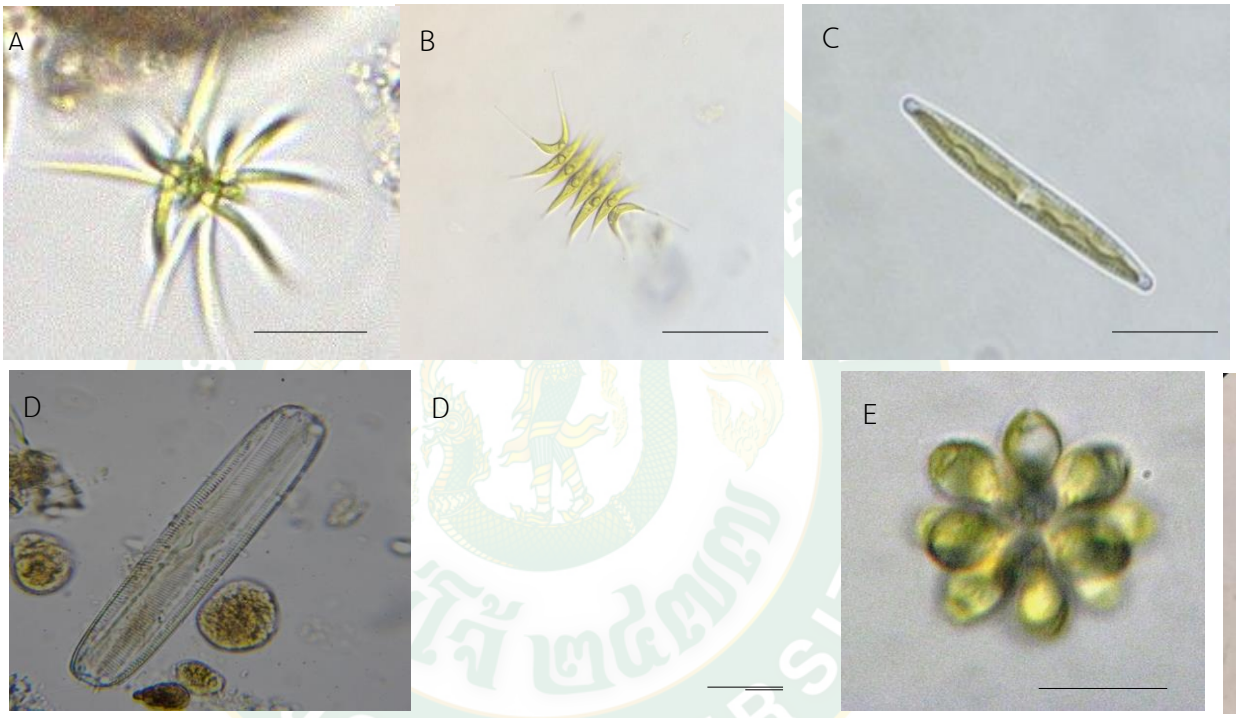
ชนิดของแพลงก์ตอนพืช	จำนวนแพลงก์ตอนพืช (เซลล์/ลิตร)				
	ธันวาคม	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน
Division Cyanophyta					
Anabaenopsis sp.	1.1 x10^4	-	-	-	-
Arthrospira sp.	16.7 x10^4	-	-	-	-
Chroococcus sp.	2.2 x10^4	13.3 x10^4	1.1 x10^4	5.5 x10^4	4.8 x10^4
Oscillatoria sp.	12.2 x10^4	-	1.1 x10^4	4.6 x10^4	2.9 x10^4
รวม	32.2 x10^4	13.3 x10^4	2.2 x10^4	10.1 x10^4	7.7 x10^4
Divition Chrysophyta					
Synura flavus	2.5 x10^4	-	-	-	-
รวม	2.5 x10^4	-	-	-	-

จำนวนชนิดของแพลงก์ตอนพืชทั้งหมดในระบบไบโอฟลอคที่เลี้ยงด้วยปลานิลที่เสริมด้วยกรดไขมันโอเมก้า 3 เป็นระยะเวลา 4 เดือน โดยเฉลี่ยประกอบด้วย Division Chlorophyta มี 5 ชนิด คิดเป็น 21% , Division Bacillariophyta มี 13 ชนิด คิดเป็น 54%, Division Cyanophyta มี 4 ชนิด คิดเป็น 17% และ Division Chrysophyta มี 2 ชนิด คิดเป็น 8%



ภาพที่ 29 ชนิดของแพลงก์ตอนพืชในระบบไบโอฟลอคที่เลี้ยงด้วยปลานิลที่เสริมด้วยกรดไขมันโอเมก้า-3 ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน

จากการศึกษาชนิดเด่นของแพลงก์ตอนพืชในระบบไบโอฟลอคที่เลี้ยงด้วยปลานิลที่เสริมด้วยกรดไขมันโอเมก้า-3 เป็นระยะเวลา 120 วัน พบแพลงก์ตอนพืชทั้งหมด 4 Division ได้แก่ Division Chlorophyta ชนิดเด่นที่พบมากที่สุด ได้แก่ *Ankistrodesmus* sp. และ *Scenedesmus* sp. Division Bacillariophyta ชนิดเด่น ได้แก่ *Nitzschia palea* และ *Pinnularia* sp. Division Cyanophyta ชนิดเด่น ได้แก่ *Arthrospira* sp. และ Division Chrysophyta ชนิดเด่น ได้แก่ *Synura* sp. (ภาพที่ 30)



Scale bar = 10 μm

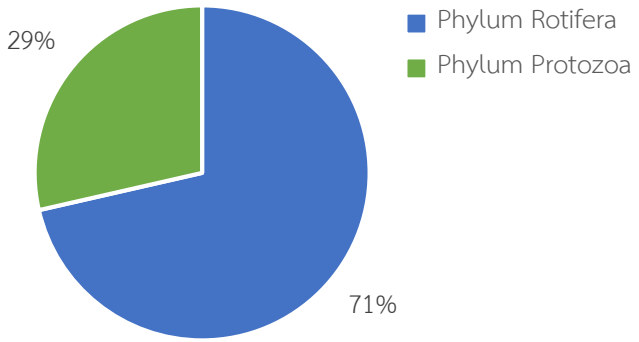
ภาพที่ 30 แพลงก์ตอนพืชชนิดที่เด่นในระบบไบโอฟลอค
A.) *Ankistrodesmus* sp., B.) *Scenedesmus* sp., C.) *Nitzschia palea,* D.) *Pinnularia* sp., E.) *Arthrospira* sp. และ F.) *Synura* sp.

จากการศึกษาชนิดและปริมาณของแพลงก์ตอนสัตว์ทั้งหมดที่พบในระบบไบโอฟลอคที่เลี้ยงด้วยปลานิลที่เสริมด้วยกรดไขมันโอเมก้า 3 ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 120 วัน พบแพลงก์ตอนสัตว์ทั้งหมด 2 Phylum 7 ชนิด ได้แก่ Phylum Rotifera จำนวน 5 ชนิด และ Phylum Protozoa จำนวน 2 ชนิด (ตารางที่ 42)

ตารางที่ 42 ชนิดและปริมาณแพลงก์ตอนสัตว์ที่พบทั้งหมดในระบบไบโอฟลอคที่เลี้ยงด้วยปลานิลที่เสริมด้วยกรดไขมันโอเมก้า-3

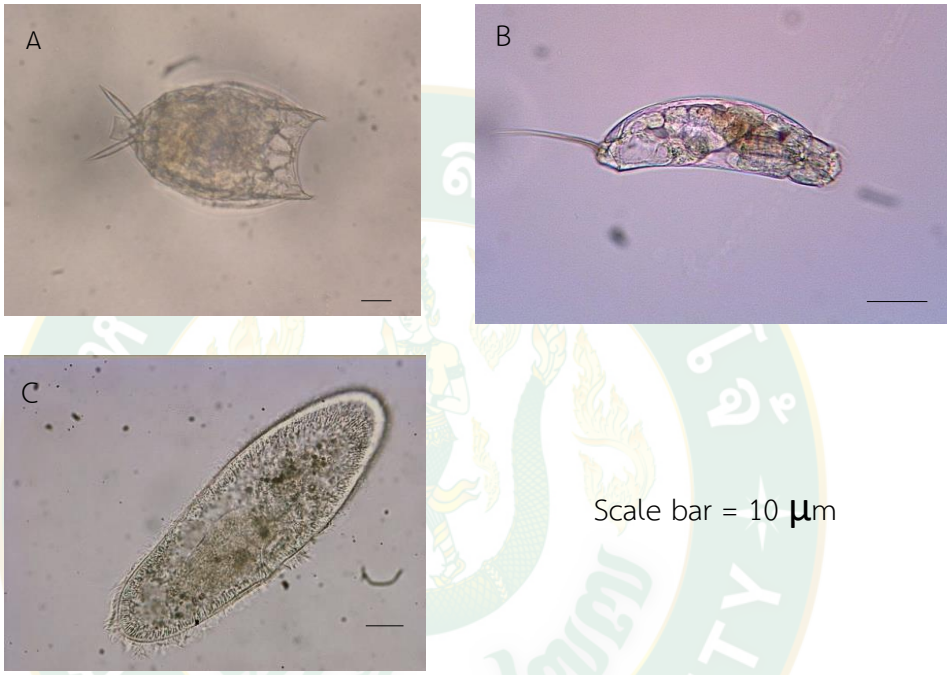
ชนิดแพลงก์ตอนสัตว์	จำนวนแพลงก์ตอนสัตว์ (เซลล์/ลิตร)				
	ธันวาคม	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน
Phylum Rotifera					
Brachionus sp.	-	1.3×10^4	1.1×10^4	0.5×10^4	1.0×10^4
Filinia sp.	-	-	4.4×10^4	6.7×10^4	5.3×10^4
Lecane sp.	13.4×10^4	26.7×10^4	42.2×10^4	26.7×10^4	29.5×10^4
Testudinella sp.	-	-	14.5×10^4	6.6×10^4	5.2×10^4
Trichocerca sp.	2.2×10^4	19.9×10^4	5.2×10^4	2.6×10^4	1.6×10^4
รวม	15.6×10^4	47.9×10^4	67.4×10^4	43.1×10^4	42.6×10^4
Phylum Protozoa					
Euplotes sp.	2.2×10^4	-	-	-	-
Paramecium sp.	2.7×10^4	29.9×10^4	37.9×10^4	28.3×10^4	21.3×10^4
รวม					

จำนวนชนิดของแพลงก์ตอนสัตว์ในระบบไบโอฟลอคที่เลี้ยงด้วยปลานิลที่เสริมด้วยกรดไขมันโอเมก้า-3 เป็นระยะเวลา 120 วัน โดยเฉลี่ย พบแพลงก์ตอนสัตว์ 2 Phylum ได้แก่ ไฟลัม Rotifera มี 5 ชนิด คิดเป็น 71% และ ไฟลัม Protozoa มี 2 ชนิด คิดเป็น 29%



ภาพที่ 31 ชนิดของแพลงก์ตอนสัตว์ในระบบไบโอฟลอคที่เลี้ยงด้วยปลานิลที่เสริมด้วยกรดไขมันโอเมก้า-3 เป็นระยะเวลา 120 วัน

จากการศึกษาแพลงก์ตอนในระบบไบโอฟลอคที่เลี้ยงด้วยปลานิลที่เสริมด้วยกรดไขมันโอเมก้า 3 เป็นระยะเวลา 4 เดือน พบแพลงก์ตอนสัตว์ทั้งหมด 2 Phylum ได้แก่ Phylum Rotifera ชนิดที่เด่นที่พบมากที่สุด ได้แก่ *Lecane* sp. และ *Trichocerca* sp. และ Phylum Protozoa ชนิดเด่น ได้แก่ *Paramecium* sp. (ภาพที่ 32)



ภาพที่ 32 แพลงก์ตอนสัตว์ชนิดที่เด่นในระบบไบโอฟลอค
A.) *Lecane* sp., B.) *Trichocerca* sp. และ C.) *Paramecium* sp.

2.5 ต้นทุนและผลตอบแทน

ผลการศึกษา จากการเลี้ยงปลานิลอินทรีย์ด้วยระบบไบโอฟลอคจนถึงกระบวนการรับรองมาตรฐานการเลี้ยงที่ดีมุ่งสู่อินทรีย์นั้น มาตรฐานการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำตาม (มกท.มาตรฐานเกษตรอินทรีย์) นั้นมีข้อจำกัดคือจำนวนปลาที่เลี้ยงต้องไม่หนาแน่น จนทำให้ปลาเกิดความเครียดและเกิดการบาดเจ็บจากความหนาแน่นภายในบ่อ จึงต้องควบคุมอัตราความหนาแน่นไม่ให้มากเกินไป โดยกำหนดมาตราฐานความหนาแน่นของปลานิลไม่เกิน 1,800 กิโลกรัม/ไร่ (1,125 g/m^2) **(**สำนักงานมาตรฐานเกษตรอินทรีย์, 2560**)** เช่น หากต้องการเลี้ยงจนสู่ขนาดตลาดต้องการ ประมาณ 500 กรัม/ตัว ปลาในบ่อจะต้องมีความหนาแน่นเพียงแค่ 2 ตัว/m^3 หรือไม่เกิน 1,125 กรัม เท่านั้น และเมื่อประมาณการวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนแล้วพบว่าขาดทุนเป็นอย่างมาก ดังนั้น หากต้องการผลสำเร็จตามวัตถุประสงค์ในการทำธุรกิจให้ได้กำไรนั้น จึงวิเคราะห์ต้นทุนผลตอบแทนจากการเลี้ยงที่ปรับเปลี่ยนให้อยู่ในระบบอาหารปลอดภัย กล่าวคือ เป็นการเลี้ยงปลอดสารเคมีและยาปฏิชีวนะ ใช้ลูกพันธุ์อินทรีย์ และอาหารสำหรับเลี้ยงปลานิลทั่วไป เนื่องจากอาหารอินทรีย์สำหรับเลี้ยงนั้น ยังคงมีต้นทุนสูงอยู่มาก แต่ยังคงความหนาแน่นไว้ที่ระดับตั้งแต่แรกปล่อย โดยให้อากาศที่เพียงพอ

ต้นทุนการเลี้ยงปลานิลด้วยระบบไบโอฟลอคในการศึกษาครั้งนี้ เป็นการวิเคราะห์ตามขนาดของบ่อทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีปริมาตรน้ำที่ใช้เลี้ยงปลานิล 1 ลูกบาศก์เมตร มีต้นทุนทั้งหมด 1,699.8 บาทต่อบ่อ โดยแบ่งเป็นต้นทุนคงที่ 227.60 บาทต่อบ่อ คิดเป็นร้อยละ 13.39 ของต้นทุนทั้งหมด และต้นทุนผันแปร 1,472.19 บาท คิดเป็นร้อยละ 86.61 ของต้นทุนทั้งหมด ต้นทุนผันแปรที่สำคัญคือ ค่าอาหาร ร้อยละ 58.34 รองลงมา ได้แก่ ค่าลูกพันธุ์ปลา คือ ร้อยละ 14.71 ซึ่งจัดเป็นต้นทุนส่วนใหญ่ในการเลี้ยงปลาโดยทั่วไป อัตราการให้อาหารจะอยู่ที่ร้อยละ 3 ของน้ำหนักตัวปลา

ในพื้นที่สามารถจำหน่ายปลานิลที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอคโดยทั่วไปในราคาเฉลี่ย 75 บาท/กก. หากเป็นผลผลิตที่มาจากการเลี้ยงด้วยระบบสัตว์น้ำปลอดภัย ไร้สารเคมีนั้น สามารถเพิ่มมูลค่าในการจำหน่ายต่อหน่วยได้ ในการวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนในครั้งนี้ กำหนดให้ราคาขายปลานิลที่เลี้ยงแบบปลอดภัยในระบบไบโอฟลอคอยู่ที่ 85 บาท เพิ่มขึ้นจากราคาปลานิลโดยทั่วไปประมาณร้อยละ 15 ซึ่งทำให้ผู้เลี้ยงมีรายได้เฉลี่ย 2,018.75 บาท/บ่อ เมื่อหักค่าใช้จ่ายต่างๆ แล้ว ผู้เลี้ยงมีกำไรสุทธิเฉลี่ย 318.95 บาทต่อบ่อ โดยเลี้ยงทั้งหมด 4 บ่อ เป็นระยะเวลา 5 เดือน มีผลผลิต

1,425 บาท/บ่อ (อัตราการรอดอยู่ที่ร้อยละ 95) ทำให้มีรายได้ทั้งหมด 5,700 บาท/รอบการผลิต และมีกำไรสุทธิ 1,275 บาท/รอบการผลิต หรือกำไรสุทธิ เท่ากับ 13 บาท/กก.

ตารางที่ 43 การประมาณค่าต้นทุนและผลตอบแทนจากการเลี้ยงปลานิลอินทรีย์ด้วยระบบไบโอฟลอค

ประเภทของต้นทุนการผลิต	รวม
ต้นทุนผันแปร	**1,472.19**
ค่าอาหาร	854.87
ค่าลูกพันธุ์	216.55
ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง/ไฟฟ้า และอื่นๆ	400.77
ต้นทุนคงที่	**227.60**
ต้นทุนทั้งหมด	**1699.80**
ผลผลิตเฉลี่ย (kg/บ่อ)	**23.75**
ราคาที่ขาย (บาท/กก.)	**85**
รายได้ (บาท/บ่อ)	**2,018.75**
กำไร (บาท/kg)	**13.42**
กำไรสุทธิ (บาท/บ่อ)	**318.95**

บทที่ 5
วิจารณ์และสรุปผลการทดลอง

การศึกษาการเสริมโอเมก้า-3 เพื่อเพิ่มมูลค่าปลานิลอินทรีย์ในระบบไบโอฟลอค ได้แบ่งการทดลองเป็น 4 ชุดการทดลอง โดยมีสรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง ดังนี้

การทดลองที่ 1 ศึกษาระบบการเลี้ยงปลานิลด้วยไบโอฟลอคที่เสริมคุณค่าโอเมก้า-3 โดยการเสริมอาหารที่เป็นแหล่งของกรดไขมันโอเมก้า-3

จากการศึกษาระบบการเลี้ยงปลานิลด้วยไบโอฟลอคที่เสริมคุณค่าโอเมก้า-3 เป็นจำนวน 2 ระบบ คือ ระบบควบคุม (น้ำใส) และระบบไบโอฟลอค พบว่าในปัจจัยด้านการเจริญเติบโตและปัจจัยด้านคุณภาพน้ำ ในระบบไบโอฟลอคมีการเจริญเติบโตที่ดีที่สุด และค่าคุณภาพน้ำที่สัตว์น้ำสามารถอาศัยอยู่ได้ โดยมีค่าอัตราส่วนของ C : N ที่ระดับ 15 : 1

การศึกษาการทดลองของ Azim and Little (2008) ได้ทำการศึกษาเทคโนโลยีไบโอฟลอค โดยวิเคราะห์คุณภาพน้ำ องค์ประกอบของไบโอฟลอค และการเจริญเติบโตและอัตรารอดของปลานิล (*Oreochromis niloticus*) พบว่า อัตราส่วนของ C : N ที่ระดับ 15:1 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมในระบบไบโอฟลอค มีการเติมแป้งสาลีเข้ามาเพื่อรักษาระดับอัตราส่วนของ C : N ในการเลี้ยงปลาในระบบไบโอฟลอค พบว่ามีอัตรารอด 100 เปอร์เซ็นต์ ผลผลิตปลาในระบบไบโอฟลอค สูงกว่าในถังควบคุมที่เลี้ยงด้วยน้ำใส ซึ่งบ่งชี้ได้ว่าระบบไบโอฟลอคมีประโยชน์ในอุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เช่น สามารถนำมาใช้เลี้ยงปลาได้โดยใช้เป็นแหล่งอาหารอื่น ๆ (Widanarni et al., 2012) การควบคุมคุณภาพน้ำ (Crab et al., 2012) ปรับปรุงการเจริญเติบโตของเอนไซม์ย่อยอาหารและการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันของระบบการเลี้ยง (Long et al., 2015) ลดการปล่อยของเสียไนโตรเจนออกสู่สภาพแวดล้อม (Santhana Kumar et al., 2018) และยังสามารถลดการให้อาหารเนื่องจากสัตว์น้ำได้ดึงตะกอนกลับมาใช้ (Castro-Nieto et al., 2012)

การทดลองที่ 2 การเปรียบเทียบปัจจัยด้านประสิทธิภาพและการเจริญเติบโต

จากการศึกษาการเปรียบเทียบปัจจัยด้านประสิทธิภาพและการเจริญเติบโต จากระบบการเลี้ยงปลานิลด้วยไบโอฟลอคที่เสริมคุณค่าโอเมก้า-3 โดยการเสริมอาหารที่เป็นแหล่งของกรดไขมันโอเมก้า-3 อาหารจำนวน 4 สูตร คือ ชุดควบคุมเลี้ยงในระบบน้ำใส (Control), อาหารอินทรีย์ (SO), อาหารอินทรีย์ผสมกับน้ำมันปลา (FO) และอาหารอินทรีย์ผสมกับสาหร่าย *Schizochytrium* sp. (SC) พบว่า อาหารสูตรอาหารอินทรีย์ผสมกับน้ำมันปลามีแนวโน้มอัตราการเจริญเติบโตได้ดีที่สุด

สูตรอาหารอินทรีย์ผสมกับน้ำมันปลา พบว่าทำให้น้ำหนักสุดท้ายของปลามีค่าน้ำหนักมากที่สุด น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นมีค่าเพิ่มมากที่สุด รวมถึงอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อและอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันมีค่าที่ดีที่สุด

จากการศึกษาการเปรียบเทียบปัจจัยด้านประสิทธิภาพและการเจริญเติบโตจากระบบการเลี้ยงปลานิลด้วยไบโอฟลอคที่เสริมคุณค่าโอเมก้า-3 โดยการเสริมอาหารที่เป็นแหล่งของกรดไขมันโอเมก้า-3 พบว่า สูตรอาหารที่มีการเสริมกรดไขมันโอเมก้า-3 เป็นน้ำมันปลา เป็นวัตถุดิบหลักที่ช่วงเพิ่มกรดไขมันโอเมก้า-3 และมีส่วนช่วยในการเจริญเติบโต ซึ่งหาได้ง่ายและมีราคาถูก ดังนั้น วัตถุดิบจึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาผลิตเป็นอาหารเลี้ยงปลานิลเพื่อเพิ่มปริมาณกรดไขมันโอเมก้า-3

ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาด้านประสิทธิภาพและการเจริญเติบโต จากการเพิ่มกรดไขมันลงไปในเนื้อปลา บัณฑิต และคณะ (2546) และ สุดชาดา และคณะ (2556) ได้การศึกษาการเพิ่มระดับกรดไขมันกลุ่มโอเมก้า 3 ในปลานิล (*Oreochromis niloticus*) โดยการใช้น้ำมันปลาทูน่าที่ระดับ 0, 3, 6, 9 เปอร์เซ็นต์ พบว่า การใช้น้ำมันปลาทูน่าที่ระดับ 3 และ 9 มีการเจริญเติบโตดีกว่าปลานิล ในกลุ่มอื่น ๆ ส่วนอัตรารอด อัตราการกินอาหาร อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อและประสิทธิภาพของโปรตีนมีค่าใกล้เคียงกันในทุกกลุ่มการทดลอง และการทดลองของ Guozhi และคณะ (2014) ที่ได้ศึกษาการเจริญเติบโต ภูมิคุ้มกันและความคุ้มทุนของการเพาะเลี้ยงปลานิล (GIFT) โดยเปรียบเทียบระบบการเลี้ยงแบบน้ำหมุนเวียน (Sugeng Heri Suseno et al., 2014) และระบบไบโอฟลอค (BFT) พบว่าเมื่อสิ้นสุดการทดลอง ปลานิลในระบบไบโอฟลอคมีอัตราการเจริญเติบโตมากกว่าปลานิลในระบบ RAS ในด้านภูมิคุ้มกัน พบว่า ปลานิลในระบบ BFT มีภูมิคุ้มกันที่ดีกว่าปลานิลในระบบ RAS และการวิเคราะห์ต้นทุนพบว่าระบบ BFT มีความคุ้มทุนมากกว่าการเพาะเลี้ยงปลาในระบบ RAS

ผลการเจริญเติบโตของปลานิลที่มีการเสริมน้ำมันที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอค โดยเริ่มเลี้ยงตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2562 ถึงเดือนเมษายน พ.ศ.2562 เป็นเวลา 120 วัน ผลการทดลอง พบว่าน้ำหนักตัวของปลานิลในชุดการทดลอง FO ที่ได้รับน้ำมันปลา 100% มีค่าน้ำหนักตัวมากกว่าชุดการทดลองอื่น ๆ ซึ่งแสดงซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้น้ำมันปลาต่างๆ กันคือ มีผลต่อการเจริญเติบโตและ

การใช้ประโยชน์จากอาหารโดยพบว่าการใช้น้ำมันปลามีผลทำให้ปลานิลมีการเจริญเติบโตดีกว่าสูตรอาหารทดลองอื่น ๆ Sugeng และคณะ (2014) รายงานว่า กรดไขมันกลุ่มโอเมก้า 3 เป็นกรดไขมันที่จำเป็นมีความสำคัญต่อการสร้างเนื้อเยื่อหุ้มเซลล์ (Cell membrane) การรักษาสมดุลของน้ำและเกลือในร่างกาย (Osmoregulation) และยังมีผลกระตุ้นให้ระบบภูมิคุ้มกันทำงานได้ดีขึ้น และนอกจากนี้แล้วกรดไขมันกลุ่มโอเมก้า 3 มีผลให้การเจริญเติบโตดีขึ้น และสามารถป้องกันอาการผิดปกติ เช่น เบื่ออาหาร โตช้าและ อัตราการตายสูง เป็นต้น (Watanabe, 1982)

ผลของอัตราแลกเนื้อของทุกชุดการทดลองมีค่าที่ 1.4-1.8 ซึ่งปลานิลที่เลี้ยงด้วยระบบไบโอฟลอค พบว่ามีค่า FCR น้อยกว่าชุดควบคุม ซึ่งสอดคล้องกับ Caldini et al. (2018) ได้ทำการทดลองการให้อาหารปลานิลด้วยอาหารสำเร็จรูปและอาหารที่ได้จากไบโอฟลอค ในด้านการเจริญเติบโตมีค่า FCR ประมาณ 0.78-1.72. ผลการทดลองเช่นเดียวกับ (Azim and Little, 2008) ที่ให้ผลว่า ไบโอฟลอค คืออาหารของปลานิล เพื่อสนับสนุนความจริงนี้ บัณฑิต และคณะ (2546) ได้ศึกษาการเลี้ยงปลานิลในระบบทั่วไปโดยการใช้น้ำมันปลาทูน่าที่ระดับ 0, 3, 6 และ 9 เปอร์เซ็นต์ ผลการศึกษา FCR พบว่ามีค่าที่ 1.75-2.55 ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเลี้ยงปลาระบบทั่วไปมีค่า FCR สูงกว่าระบบ Biofloc

อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน ในการศึกษาครั้งนี้พบว่า มีค่า ADG อยู่ค่าประมาณ 1.6-2.1 กรัมต่อวัน โดยมีค่ามากกว่าการทดลองของ Scott และคณะ (2016) ที่กล่าวไว้ว่า ค่าอัตราการเจริญเติบโตต่อวันของปลานิลจะอยู่ที่สูงที่สุดที่ 0.693 ± 0.018 กรัมต่อวัน

อัตรารอดของปลานิลในการทดลองทุกชุดการทดลองมีค่าระหว่าง 92-100% ในระยะเวลาการเลี้ยง 120 วัน โดยชุดการทดลองที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอคมีอัตราการรอดต่ำกว่าชุดควบคุม ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Sittplangkoon (2013) ที่ทดลองเลี้ยงปลานิลด้วยไบโอฟลอคที่อัตราส่วน C:N เท่ากับ 20:1 พบว่าปลานิลมีอัตราการรอดต่ำ ซึ่งผลดังกล่าวอาจเป็นจากการไม่ได้เปลี่ยนถ่ายน้ำตลอดการเลี้ยง ทำให้ปลาต้องใช้พลังงานในการรักษาสมดุลของร่างกายและขับถ่ายของเสียทำให้อัตรารอดต่ำ

การทดลองที่ 3 ปัจจัยด้านคุณสมบัติต่าง ๆ ของน้ำ

จากการศึกษาปัจจัยด้านคุณภาพน้ำของ จากระบบการเลี้ยงปลานิลด้วยไบโอฟลอคที่เสริมคุณค่าโอเมก้า-3 โดยการเสริมอาหารที่เป็นแหล่งของกรดไขมันโอเมก้าหา-3 อาหารจำนวน 4 สูตร คือ ชุดควบคุมเลี้ยงในระบบน้ำใส (Control) อาหารอินทรีย์ (SO) อาหารอินทรีย์ผสมกับน้ำมันปลา (FO) และอาหารอินทรีย์ผสมกับสาหร่าย *Schizochytrium* sp. (SC) เมื่อจำแนกเป็นจำนวน 2 ระบบ คือ ระบบควบคุม (น้ำใส) และระบบไบโอฟลอค มีรายละเอียด ดังนี้

อุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิน้ำในช่วงการทดลองอยู่ระหว่าง 21.0-36.0 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของปลา ทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น โดยสอดคล้องกับ Khan et al. (2004) พบว่าปลาที่อาศัยในน้ำที่มีอุณหภูมิสูงส่งผลต่อการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นโดยเปรียบเทียบปลายี่สกเทศในโรงพลาสติกที่มีอุณหภูมิเฉลี่ย 25 องศาเซลเซียส และปลาที่เลี้ยงกลางแจ้งอุณหภูมิ 14.8 องศาเซลเซียส และจากการศึกษาของ Majhi and Das (2014) พบว่าปลาน้ำจืดที่เลี้ยงที่อุณหภูมิน้ำสูง 35 องศาเซลเซียส มีการเจริญเติบโตที่ดีกว่าการเลี้ยงในน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำ ที่ 20 องศาเซลเซียส เช่นเดียวกับ Hilge (1985) ที่พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตที่ดีที่สุดของปลาอยู่ในช่วง 25-30 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดอยู่ที่ 27 องศาเซลเซียส และสอดคล้องกับ El-Sayed (2004) ที่ได้รายงานว่าอุณหภูมิของน้ำที่แตกต่างกันจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบเติบโตของปลานิล ซึ่งที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส จะทำให้ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของปลานิลดีที่สุด

ปริมาณของแขวนลอยทั้งหมดและปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมด ในบ่อเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอคทั้ง 4 ชุดการทดลอง โดยชุดควบคุม (น้ำใส) มีค่าปริมาณแขวนลอยทั้งหมดและปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมด ประมาณ 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร และในชุดการทดลองระบบไบโอฟลอค ค่าปริมาณของแขวนลอยทั้งหมด มีค่าช่วงเฉลี่ยประมาณ 0.01-0.71 มิลลิกรัมต่อลิตรและปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมดมีค่าช่วงเฉลี่ยประมาณ 0.01-0.34 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อระยะเวลาผ่านไปปริมาณของแขวนลอยทั้งหมดและปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมด ในระบบไบโอฟลอคจะมีค่าที่สูงขึ้นและลดลงในบางสัปดาห์ ซึ่งจากรายงานของ Azim and Little (2008) แนะนำให้คงปริมาณตะกอนแขวนลอยในระบบไบโอฟลอคได้ไม่เกิน 500 มิลลิกรัมต่อลิตร เนื่องจากปริมาณตะกอนที่มากเกินไปจะอุดตันเหงือกของสัตว์น้ำทำให้ความสามารถในการแลกเปลี่ยนออกซิเจนลดลง ในขณะที่ปริมาณตะกอนของแขวนลอยทั้งหมดและปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมด ในชุดควบคุมมีค่าคงที่ ปริมาณตะกอนของแขวนลอยทั้งหมดที่ลดลงในชุดการทดลองแสดงให้เห็นว่ามีกระบวนการ Heterotrophic (Ray et al., 2010) ในขณะเดียวกัน ปริมาณตะกอนของแขวนลอยทั้งหมดที่ลดลงอาจเป็นผลมาจากปลาได้ดึงกลับมาเป็นอาหาร ตามที่ (Avnimelech, 1999) ซึ่งในธรรมชาติไบโอฟลอคในน้ำเป็นอาหารเสริมแก่สัตว์น้ำ สัตว์น้ำสามารถกินและย่อยสลายได้ ซึ่งจะเป็นการเปลี่ยนเศษอาหารมาเป็นอาหารเสริม (Anand et al., 2014; Crab et al., 2012; Xu and Pan, 2012)

ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในบ่อเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค เฉลี่ยอยู่ในช่วง 5.5-9.5 มิลลิกรัมต่อลิตร แนวโน้มของปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีความคงที่ตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดการทดลองและค่าที่มากกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมในการเลี้ยงปลานิล ดังที่ ศิริเพ็ญ (2543) และ Boyd and Tucker (1998) รายงานว่า คุณสมบัติของน้ำที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลานิล อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วงระหว่าง 19-32 องศาเซลเซียส ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ

ไม่ต่ำกว่า 4 มิลลิกรัมต่อลิตร และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Tran-Duy et al. (2008) กรัมต่อลิตร จะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการเจริญเติบโตของปลานิลมีความแตกต่างกัน โดยที่ระดับออกซิเจนละลายน้ำเฉลี่ย 5.6 มิลลิกรัมต่อลิตรประสิทธิภาพในการเจริญเติบโตจะดีกว่า

ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในบ่อเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค 4 ชุดการทดลอง อยู่ในช่วงระหว่าง 6.9-8.2 ค่า pH มีค่าคงที่ตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดการทดลอง มีค่าเป็นกลาง ในการศึกษานี้ ค่า pH ในบ่อเลี้ยงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่สัตว์น้ำสามารถอาศัยอยู่ได้ โดยมีค่าระหว่าง 6.5-9.0 ตามที่ Bhatnagar et al. (2004) และ Wurts and Durborow (1992) ค่า pH ต้องอยู่ในระดับระหว่าง 7.5 และ 8.5 ถ้ามากกว่านี้หรือน้อยกว่านี้จะทำให้ปลามีภาวะเครียด ค่า pH ที่ดีในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจะมีค่าระหว่าง 6.7-9.5 (Anita and Pooja Devi, 2013; Santhosh and Singh NP., 2007) และสอดคล้องกับ มั่นสิน (2540) กล่าวว่า pH ที่อยู่ในช่วง 6.5-8.5 ทำให้สัตว์ดำรงชีวิตได้ปกติ แต่ถ้าค่ามีค่าต่ำมากหรือสูงมากจะส่งผลต่อสัตว์น้ำถึงตาย คือระดับ pH 4 ก็จะทำให้ตาย pH 4-5 จะทำให้ไม่สืบพันธุ์ pH 9-11 ก็จะทำให้โตช้า และ pH มากกว่า 11 ก็ส่งผลให้ตายเช่นกัน

ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนในชุดการทดลอง พบว่า มีค่าอยู่ระหว่าง 0.1-1.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ชุดควบคุมมีระดับแอมโมเนียไนโตรเจนมากที่สุด และชุดการทดลองระบบไบโอฟลอคมีค่าส่วนใหญ่ที่พบอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำ สำหรับเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร (กรมประมง, 2555) ซึ่งค่าที่สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานมีน้อยมาก โดยค่าส่วนใหญ่อยู่ในเกณฑ์ที่ไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ ซึ่งแอมโมเนียในน้ำจะปรากฏอยู่ 2 รูป คือรูปเป็นพิษ ได้แก่ แอมโมเนียอิสระ (NH_3) และรูปที่ไม่เป็นพิษ ได้แก่ แอมโมเนียอิออน (NH_4^+) (สิทธิชัย, 2549) การทดลองครั้งนี้สรุปได้ว่า เป็นแอมโมเนียที่อยู่ในรูปที่ไม่เป็นพิษ เนื่องจากค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วงที่เหมาะสม คือมีค่าเป็นกลาง เพราะถ้าเมื่อใดก็ตามที่ความเป็นกรด-ด่างของน้ำสูง พิษของแอมโมเนียจะปรากฏ ถ้าความเป็นกรด –ด่าง ยิ่งสูงพิษของแอมโมเนียก็ยิ่งมากตามด้วย สำหรับค่าแอมโมเนียในน้ำมากเกินไป จะส่งผลอันตรายต่อเหงือกและลดความสามารถของเลือดในการขนถ่ายออกซิเจน และทำให้ปลาอ่อนแอและติดโรคได้ง่าย

ไนไตรท์ ไนโตรเจน ในชุดการทดลอง มีค่าอยู่ระหว่าง 2.0-9.6 มิลลิกรัมต่อลิตร แนวโน้มค่าไนไตรท์ ไนโตรเจน พบว่า เมื่อเริ่มต้นของการทดลองปริมาณค่าไนไตรท์ ไนโตรเจนมีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและเมื่อเวลาผ่านไปปริมาณค่าไนไตรท์ ไนโตรเจนมีค่าลดลงจนสิ้นการทดลอง ถึงแม้ว่าค่าไนไตร์ท ไนโตรเจนจะมีค่าที่สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน คือ ไม่เกิน 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร (กรมประมง, 2555) ทำให้พบว่าปลานิลสามารถปรับตัวและดำรงชีวิตอยู่ได้ในน้ำที่มีค่าไนไตรท์ ไนโตรเจนที่สูงได้ เช่นเดียวกับการทดลองของ Eduardo et al. (2018) ปริมาณค่าไนไตร์ท ไนโตรเจนในการทดลองในระบบไบโอฟลอค โดยการเติมสารอินทรีย์ที่แตกต่างกัน พบว่าการทดลองที่มีการเติมกากน้ำตาลลงไปในระบบ มีค่าไนไตรท์ ไนโตรเจน 1.49, 0.82, 0.74 และ 2.30 มิลลิกรัมต่อลิตร และพบว่าปริมาณไน

ไตรท์ ไนโตรเจนที่มีความเข้มข้นมากกว่า 28.1 มิลลิกรัมต่อลิตร อาจทำให้เกิดการเสียชีวิตได้ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกันกับที่ Yanbo et al. (2006) รายงานว่า ในปลานิลสามารถอาศัยอยู่ในน้ำที่มีค่าไนไตร์ท ไนโตรเจน ความเข้มข้นสูงถึง 160.5 มิลลิกรัมต่อลิตร

ค่าไนเตรท เป็นธาตุอาหารไนโตรเจนรูปแบบหนึ่งที่พืชและแพลงก์ตอนพืชนำไปใช้ได้ ไนเตรทจึงมีความสำคัญต่อสัตว์น้ำและระบบนิเวศน์แหล่งน้ำในแง่ของการเป็นธาตุอาหารที่ก่อให้เกิดผู้ผลิตขั้นต้นในบ่อ ซึ่งไนเตรท ไนโตรเจน ในชุดของการทดลอง มีค่าระหว่าง 0.1-36.8 มิลลิกรัมต่อลิตร แนวโน้มของปริมาณไนเตรท ไนโตรเจน พบว่าเมื่อเริ่มต้นการทดลองปริมาณไนเตรท ไนโตรเจน มีค่าต่ำที่สุด ในครั้งที่ 1 และเมื่อเวลาผ่านไป พบว่าค่าไนเตรทไนโตรเจนมีค่าสูงขึ้น จนสิ้นสุดการทดลอง ถึงแม้ว่าค่าไนเตรท ไนโตรเจนมีค่าที่สูงกว่าเกณฑ์การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำของกรมประมง เป็นไปตามรายงานของ Boyd and Tucker (1998) และ El-Sayed (2006) ที่ได้กล่าวถึงค่าคุณภาพน้ำที่เหมาะสมในการเลี้ยงปลานิล ปริมาณความเข้มเข้นของไนเตรทที่เหมาะสมในการเลี้ยงปลานิลต้องมีค่า น้อยกว่า 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

ค่าฟอสเฟตฟอสฟอรัสและฟอสฟอรัสรวมเป็นธาตุอาหารหลักที่สำคัญอีกชนิดหนึ่งในการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอน เป็นปัจจัยสำคัญที่กำหนดความสมบูรณ์ในน้ำ ซึ่งฟอสเฟตฟอสฟอรัสและฟอสฟอรัสรวมในน้ำมีค่าระหว่าง 0.6-10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 0.6-10.3 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าเมื่อระยะเวลาในการทดลองผ่านไปมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นจนสิ้นสุดการทดลอง ผลการทดลองเป็นไปตามรายงานของ Boyd and Tucker (1998) และ El-Sayed (2006) ที่ได้กล่าวถึงค่าคุณภาพน้ำที่เหมาะสมในการเลี้ยงปลานิล ปริมาณความเข้มเข้นของฟอสฟอรัสที่เหมาะสมในการเลี้ยงปลานิลต้องมีค่า น้อยกว่า 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

การวิเคราะห์หาค่า Biochemical oxygen demand (BOD) เป็นการวัดความสกปรกของน้ำเสียในรูปของออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ในการย่อยสารอินทรีย์ชนิดที่ย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์หรือสิ่งมีชีวิต ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน (อุดมลักษณ์, 2560) ปริมาณค่า BOD ในบ่อเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอคมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.2-4.6 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นไปตามเกณฑ์ที่สัตว์น้ำสามารถอาศัยอยู่ได้ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ กรมประมง (2555) ที่ได้รายงานว่า ค่า BOD ในน้ำต้องมีค่าไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ ในการทดลองพบว่ามีค่าปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ ในบ่อเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค เฉลี่ยอยู่ในช่วง 107.0-678 ไมโครกรัมต่อลิตร ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอในบ่อเลี้ยงปลานิลชุดควบคุม มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด คือ 628.3 ไมโครกรัมต่อลิตร ในชุดควบคุมปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น จนสิ้นสุดการทดลอง และในชุดการทดลองอื่น ๆ มีปริมาณเพิ่มขึ้นจนถึงสัปดาห์ที่ 4 และมีแนวโน้มลดลงจนสิ้นสุดการทดลอง ได้รับอิทธิพลจากแสง (Baloi et al., 2013) การลดลงของความเข้มข้นของปริมาณคลอโรฟิลล์ ระหว่างการศึกษาอาจเกี่ยวข้องกับการเติมแหล่ง

คาร์บอนเพื่อควบคุมค่าปริมาณแอมโมเนีย การเติมแหล่งคาร์บอนเข้ามาในระบบไบโอฟลอคจะควบคุมการเจริญเติบโตของสาหร่ายขนาดเล็ก (Gonzalez-Felix et al., 2007; Ju et al., 2008) ค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในการทดลองมีค่าใกล้เคียงกับการรายงาน (Kevin et al., 2015) ที่ได้ศึกษาการเลี้ยงปลาดุกในระบบไบโอฟลอค และ Burford et al. (2004) และ Decamp et al. (2007a) รายงานสำหรับระบบไบโอฟลอคที่ใช้เลี้ยงกุ้งขาว

การทดลองที่ 4 ปัจจัยด้านองค์ประกอบทางโภชนาการของสารอาหารรวมทั้งปริมาณกรดไขมัน

คุณค่าทางโภชนาการของอาหาร อาหารมีค่าโปรตีนไม่ต่ำกว่า 25% และไขมันไม่ต่ำกว่า 9% ซึ่งเป็นค่าที่ปลานิลต้องการตามที่ Jauncey (1998) รายงานว่าระดับโปรตีนที่เหมาะสมสำหรับปลานิลขนาด 0.5, 0.5-10, 1-30 และ 30 กรัมขึ้นไป ควรมีค่าเท่ากับ 40-45, 30-35, 25-30 และ 25-30 % ตาม ลำดับ ขณะที่ความต้องการกรดอะมิโนจำเป็นของปลานิลนั้นมีระดับไขมันประมาณ 5-12 % การเพิ่มระดับไขมันสามารถช่วยลดระดับโปรตีนได้ในอาหารหรือช่วยให้ปลาสามารถใช้ประโยชน์โปรตีนได้อย่างเต็มที่ เช่นเดียวกับที่ พิเชต (2559) รายงาน การจัดการทางโภชนาการสาหรับการเลี้ยงปลานิล ว่า ในอาหารปลานิลควรมีระดับโปรตีน 25-45 % ไขมัน 5-12 % คาร์โบไฮเดรต 20-50 % ใยอาหาร ≤6 % กรดไขมันกลุ่ม n-6 และ n-3 0.5-1.0 % แคลเซียม 0.3 % และฟอสฟอรัส 0.7 %

อาหารที่นำไปวัดกรดไขมันในการทดลองพบว่า ในชุดอาหารอินทรีย์ผสมน้ำมันปลา (FO) มีค่าปริมาณกรดไขมันโอเมก้า 3 DHA และ EPA สูงที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการวิจัยในอาหารปลาหมอที่มีการเสริมอาหารด้วยชนิดของกรดไขมันแตกต่างหัน ได้แก่น้ำมันหมู น้ำมันปลาทูน่า น้ำมันมะพร้าว น้ำมันข้าวโพด และน้ำมันถั่วเหลืองพบว่าปลาหมอได้รับอาหารผสมน้ำมันปลาที่มีการเสริมอาหารผสมน้ำมันปลาทูน่าเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ มีการสะสมของกรดไขมันชนิด DHA และ EPA มีค่าสูงที่สุดและมากกว่าชุดการทดลองอื่น ๆ (สุดารัตน์, 2551) และการที่มีกรดไขมันในอาหารสูงที่สุดส่งผลให้มีการเจริญเติบโตที่ดีที่สุดด้วยเช่นกัน ตามการรายงานของ Wing-Keong Ng. (2005) สำหรับอาหารปลานิลที่ระบุว่าควรมีระดับไขมันประมาณ 5-12 % การเพิ่มระดับไขมันสามารถช่วยลดระดับโปรตีนได้ในอาหารหรือช่วยให้ปลาสามารถใช้ประโยชน์โปรตีนได้อย่างเต็มที่ (Protein sparing effect) และแนะนำว่าอาหารปลานิลควรมีกรดไขมันกลุ่ม n-6 และกรดไขมันกลุ่ม n-3 ที่ใกล้เคียง แต่ Lim et al. (2009) ระบุว่าปลานิลมีความมีความต้องการกรดไขมันกลุ่ม n-6 มากกว่ากลุ่ม n-3

ในเนื้อปลานิลที่เลี้ยงด้วยระบบไบโอฟลอค หลังจากที่เลี้ยงโดยเสริมน้ำมัน เลี้ยงเป็นเวลา 120 วัน เมื่อนำไปวัดปริมาณโภชนาการในเนื้อปลา พบว่า ในชุดอาหารอินทรีย์ผสมน้ำมันปลา (FO)

และชุดอาหารอินทรีย์ผสมสาหร่าย *Schizochytrium* sp. (SC) มีค่าโปรตีนที่สูง จะเห็นได้ว่าเมื่อมีการเพิ่มกรดไขมันเข้าไปในอาหารจะทำให้ปลามีโปรตีนที่สูงขึ้น สอดคล้องเช่นเดียวกับการรายงานของพิเชต (2559) รายงานว่า การเพิ่มการใช้ประโยชน์อาหารเพื่อเร่งการเจริญเติบโต โดยอาหารปลานิลควรมีสารอาหารที่สำคัญ เช่น กรดไขมันกลุ่ม n-6 และ n-3 และสามารถแทนที่น้ำมันปลาทะเลด้วยน้ำมันชนิดอื่นได้แต่ปริมาณกรดไขมันกลุ่ม n-6 และ n-3 ในอาหารต้องไม่ต่ำกว่าระดับที่ปลาต้องการ โดยการเสริมด้วยแหล่งสารอาหาร เช่น *Schizochytrium* sp.

ปริมาณไขมันในชุดอาหารอินทรีย์ผสมน้ำมันปลา (FO) มีค่าสูงที่สุดที่ 10.6 ±0.00 เช่นเดียวกันกับกรดไขมันโอเมก้า -3 ในปลานิล พบว่ากรดไขมัน omega-3 ที่พบในปลานิลหลังจากเลี้ยงในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลา 120 วัน ในการทดลอง พบว่า ในเนื้อปลาชุดการทดลอง FO มีค่ามีค่าเปอร์เซ็นกรดไขมันโอเมก้า 3 มากที่สุด ทั้ง DHA และ EPA มีรายงานการวิจัยของ Manning et al. (2006) ในปลาดุกน้ำหนักประมาณ 50-60 กรัม ที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมน้ำมันปลาระดับ 1.5% เลี้ยงเป็นเวลา 6 สัปดาห์ พบว่ามีการสะสมของไขมัน Omega-3 เพิ่มขึ้นในกล้ามเนื้ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีรายงานการวิจัยของ (Chen et al., 2013) ในปลาเรนโบเทราส์ น้ำหนักประมาณ 240 กรัมที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมไขมัน Omega-3 ในระดับ 8.5 และ 15% เลี้ยงเป็นเวลา 120 วัน พบว่า มีการสะสมไขมันเพิ่มขึ้นในกล้ามเนื้ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

การทดลองที่ 5 ปัจจัยด้านความหลากหลายและองค์ประกอบของแพลงก์ตอนในระบบไบโอฟลอค

จากการทดลองปัจจัยด้านความหลากหลายและองค์ประกอบของแพลงก์ตอนในไบโอฟลอคในระบบควบคุมที่เลี้ยงในน้ำใสและระบบไบโอฟลอค ใช้อาหารสำเร็จรูปที่มีการเพิ่มน้ำมันเป็นแหล่งของกรดไขมันโอเมก้า 3 เลี้ยงเป็นระยะเวลา 120 วัน โดยทำการวัดปริมาณความหลากหลายของแพลงก์ตอน สัปดาห์ละ 1 ครั้ง ในการวัดปริมาณของแพลงก์ตอนพืช พบว่า ชุดการทดลองควบคุมที่เลี้ยงในระบบน้ำใส มีปริมาณของแพลงก์ตอนพืช Division Chlorophyta มากที่สุด แต่ชุดการทดลองที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอค ส่วนใหญ่จะพบแพลงก์ตอนพืช Division Bacillariophyta มากที่สุด เช่นเดียวกับการรายงานของ Widanarni et al. (2012) ได้รายงานว่า ความแตกต่างระหว่างแพลงก์ตอนพืชในชุดควบคุมและระบบไบโอฟลอค พบว่าในชุดการทดลองควบคุม ส่วนใหญ่จะเป็น Division Chlorophyta และชุดทดลองระบบไบโอฟลอค จะพบ Division Bacillariophyta อาจจะเกิดจากการที่มีการเติมคาร์บอนเข้าไปในระบบ ในการเลี้ยงระบบไบโอฟลอคนั้นมีวัตถุประสงค์เพื่อกระตุ้นการสร้างตะกอนฟลอคและจะเห็นได้ว่ายังเป็นการกระตุ้น Diatom ในระบบไบโอฟลอคอีก (Zita and Hermansson, 1994) จำนวนของแพลงก์ตอนพืชที่พบมากที่สุด อยู่ใน Division

Chlorophyta พบมากที่สุดในระบบควบคุม (น้ำใส) สอดคล้องกับการรายงานของ (ขจรเกียรติ์ และคณะ, 2555) ที่ศึกษาชนิด และปริมาณของแพลงก์ตอนพืช ตลอดจนคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาบึกด้วยระบบการเลี้ยง ที่แตกต่างกัน จำนวน 3 บ่อ คือ บ่อที่ 1 ไม่มีการสร้างอาหารธรรมชาติ (บ่อควบคุม) บ่อที่ 2 มีการสร้างอาหารธรรมชาติโดยใส่ปุ๋ยมูลไก่แห้งในอัตรา 40 กก./ไร่/สัปดาห์ ตลอดการทดลอง และบ่อที่ 3 มีการสร้างอาหารธรรมชาติโดยใส่ปุ๋ยมูลไก่แห้งในอัตรา 20 กก./ไร่/สัปดาห์ พบว่าปริมาณของ *Scenedesmus* sp. ซึ่งอยู่ใน Division Chlorophyta มากที่สุดตลอดการศึกษา เช่นเดียวกันในระบบไบโอฟลอคที่พบแพลงก์ตอนพืช Division Chlorophy มากที่สุด ระบบไบโอฟลอค จุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตมีความสัมพันธ์กับสารอินทรีย์อนุภาคเล็ก ควบคุมโดยการเติมอากาศอย่างต่อเนื่อง ในระบบไบโอฟลอค แพลงก์ตอนพืชและแบคทีเรียที่เป็นส่วนหนึ่งของสิ่งมีชีวิตที่ซับซ้อน Green et al. (2014) จากการทดลองพบว่า ปริมาณของแพลงก์ตอนพืชมีค่าสูงที่สุดในเดือนมีนาคม จากรายงานผลการวิจัย ทำให้ทราบว่า อุณหภูมิมีผลต่อการเพิ่มขึ้นและลดลงของจำนวนแพลงก์ตอนพืช ตามรายงานการวิจัยของ ทวีศักดิ์ (2548) ได้รายงานการวิจัย ปริมาณแพลงก์ตอนพืชแต่ละดิวิชัน ในแต่ละสัปดาห์โดยเฉลี่ย พบว่า มีปริมาณมากที่สุดในสัปดาห์ที่ 7 ในเดือนมีนาคม (7,783 เซลล์ต่อมิลลิลิตร) ซึ่งเป็นช่วงต้นฤดูร้อน ส่งผลให้มีปริมาณแสงที่เหมาะจะใช้สังเคราะห์แสงและการเจริญเติบโต ชนิดของแพลงก์ตอนที่พบส่วนมากเป็นดิวิชั่น Bacillariophyta ที่พบมากสุดถึง 6 ชนิด ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานผลการวิจัยของ จักรพงษ์ (2552) ที่ศึกษาชนิดและความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืชในบ่อเลี้ยงกุ้ง บริเวณบ้านปากคลอง ตำบลนาทุ่ง อำเภอเมือง จังหวัดชุมพร พบจำนวนแพลงก์ตอนพืชใน Division Bacillariophyta มากที่สุด ในบ่อเลี้ยงกุ้งพบแพลงก์ตอนพืชใน Division Bacillariophyta 11 ชนิดโดยพบ *Nitzschia* sp. มากที่สุด และ Schrader et al. (2011) กล่าวว่าองค์ประกอบของแพลงก์ตอนพืชในบ่อเลี้ยงปลาดุกที่เลี้ยงกลางแจ้ง มีองค์ประกอบของแพลงก์ตอนพืช พบแพลงก์ตอน Division Chlorophyta และ Division Bacillariophyta มากที่สุด ส่วน Division Chlorophyta และ Division Cyanophyta จะพบในน้ำกร่อยในระบบการเลี้ยงกุ้ง Ray et al. (2010) และ Morel et al. (2013) ได้กล่าวในรายงานการทดลองว่า Diatoms เป็นกลุ่มหลักที่เกี่ยวข้องกับสารอินทรีย์ในระบบไบโอฟลอค

ในการหาปริมาณแพลงก์ตอนสัตว์ ในระบบควบคุมที่เลี้ยงในระบบน้ำใสและระบบไบโอฟลอค พบจำนวนชนิดของแพลงก์ตอนสัตว์ 2 Phylum คือ Phylum Protozoa และ Phylum Rotifera ตามการรายงานของ Widanarni et al. (2012) ได้ทำการศึกษา การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีไบโอฟลอค ด้านคุณภาพน้ำและประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของปลานิล ในระดับความหนาแน่นที่แตกต่างกันเมื่อทำการหาปริมาณแพลงก์ตอนสัตว์ในบ่อเลี้ยง พบว่า มีปริมาณแพลงก์ตอนสัตว์ Phylum Protozoa และ Phylum Rotifera มากที่สุด และพบว่าแพลงก์ตอนสัตว์ที่พบในบ่อเลี้ยงมีประโยชน์ช่วยเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตให้สูงขึ้นและลดต้นทุนอาหารโดยใช้แพลงก์ตอนสัตว์

เป็นอาหารทดแทน Hargreaves (2013) จากผลการทดลอง การหาปริมาณแพลงก์ตอนสัตว์ พบว่าปริมาณของแพลงก์ตอนสัตว์มีค่ามากที่สุดในเดือนมีนาคม ทำให้เห็นได้ว่า แพลงก์ตอนสัตว์ในบ่อเลี้ยงมีความสอดคล้องแปรผันตามกับปริมาณแพลงก์ตอนพืช เมื่อปริมาณแพลงก์ตอนพืชมีค่าสูงขึ้นก็ส่งผลให้ปริมาณแพลงก์ตอนสัตว์สูงตามไปด้วย เช่นเดียวกับที่ Finlay and Esteban (1998) กล่าวว่าความหนาแน่นสูงของอาหาร (แพลงก์ตอนพืชและแบคทีเรีย) ทั้งในชุดทดลองการควบคุมและชุดการทดลองไบโอฟลอค กระตุ้นการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนสัตว์ซึ่งถูกทดลองในเครื่องทดสอบอะมีบา และตามรายงานของ Ekasari et al. (2014) ได้รายงานว่า ในการเพาะเลี้ยงแบบเปิด พบว่ามีแสงสว่างเพียงพอการผลิตแพลงก์ตอนพืชซึ่งเป็นแหล่งอาหารที่อุดมสมบูรณ์ สำหรับแพลงก์ตอนสัตว์และผลิตสารอาหารเหล่านี้เพื่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียและการก่อตัวของฟลอค ในระบบไบโอฟลอค และอุณหภูมิก็มีผลต่อการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนสัตว์เช่นเดียวกันกับแพลงตอนพืช (ทวีศักดิ์, 2548)

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่า การเพิ่มกรดไขมันในอาหารปลานิล โดยการเลี้ยงในระบบไบโอฟลอค เป็นระยะเวลา 120 วัน พบว่าปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรน้ำมันปลา สำหรับเลี้ยงปลานิลให้ผลน้ำหนักตัวของปลาดีที่สุด และช่วยเพิ่มการสะสมปริมาณกรดไขมันในเนื้อปลาได้มากกว่าทุกหน่วยการทดลองโดยเฉพาะกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 ในด้านของการเลี้ยงในระบบไบโอฟลอค พบว่าช่วยลดค่าใช้จ่ายเรื่องอาหารและการเปลี่ยนถ่ายน้ำ ดังนั้นการรับประทานเนื้อปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารที่ใช้น้ำมันปลาจึงเป็นทางเลือกที่สามารถจะให้ปริมาณ กรดไขมันกลุ่มโอเมก้า-3 ใกล้เคียงกับการรับประทานปลาทะเลที่มีราคาแพงและต้องนำเข้าจากต่างประเทศได้ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ และเพิ่มมูลค่าปลาน้ำจืดได้เป็นอย่างดี รวมถึงเป็นทางเลือกของเกษตรกรที่ทำการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำโดยใช้อาหารและเปลี่ยนถ่ายน้ำน้อยในอนาคต ควรมีการศึกษาในสัตว์น้ำชนิดอื่น ๆ เพื่อเพิ่มมูลค่าและควรมีการแปรรูปผลิตภัณฑ์ให้ได้มาตรฐานเพื่อส่งออกในตลาดเพื่อทดแทนการนำเข้าปลาที่มีโอเมก้า-3 จากต่างประเทศ

ข้อเสนอแนะ

1. ในการเลี้ยงปลาในระบบไบโอฟลอค ถึงจะได้ผลผลิตที่ดี ลดการใช้น้ำก็ตาม แต่ถ้ามองในแง่ของต้นทุนการสร้างบ่อและการจัดการระบบไฟฟ้าจะสูงกว่าการเลี้ยงแบบธรรมดา ดังนั้นการลดต้นทุนในการสร้างจึงเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ได้

2. ระบบไบโอฟลอค ต้องมีการควบคุมตะกอนอย่างสม่ำเสมอเพื่อไม่ให้เกิดของเสียภายในบ่อ

3. ควรมีการศึกษาการเลี้ยงปลาหรือเลี้ยงปลาร่วมกับสัตว์น้ำชนิดอื่นให้มากมายหลายชนิด เพื่อเพิ่มผลผลิตและความคุ้มค่าต่อการใช้บ่อและระบบไฟฟ้า

บรรณานุกรม

กมลกาญจน์ จิญกาญจน์. 2551. **โอเมก้า-3 กรดไขมันดีมีประโยชน์**. กรุงเทพฯ: กลุ่มงานคุณค่าทางโภชนาการ โครงการวิทยาศาสตร์ชีวภาพ.

กรมควบคุมมลพิษ. 2542. **รายงานสถานการณ์และการจัดปัญหามลพิษทางน้ำ**. กรุงเทพฯ: กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม.

กรมประมง. 2555. **เกณฑ์คุณภาพน้ำเพื่อคุ้มครองทรัพยากรสัตว์น้ำจืด เอกสารเผยแพร่ลำดับที่ 75/2530**. กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กรมประมง. ม.ป.ป. **คุณภาพน้ำที่เหมาะสมกับการเพาะเลี้ยงปลานิล**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา www.fisheries.go.th/if-ubon_amnat/web2/images/downloads/21081.pdf (25 กุมภาพันธ์ 2561).

กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม. 2552. **รายงานการศึกษาแนวคิดผลิตภัณฑ์ใหม่ ของอาหารเสริม DHA จากสาหร่ายเซลล์เดียว**. กรุงเทพฯ.

กลุ่มวิเคราะห์การค้าสินค้าประมงระหว่างประเทศ. 2559. **การค้าสินค้าประมงปี 2559**. กองนโยบายและยุทธศาสตร์พัฒนาการประมง กรมประมง.

เกรียงศักดิ์ เม่งอำพัน. ม.ป.ป. **คุณภาพน้ำเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (Water qualities for aquaculture)**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา https://aqua.c1ub.net/forum/index.php?topic=19106.0;wap2 (12 มีนาคม 2561).

เกวลิน หนูฤทธิ์. 2559. **Monthly Report สินค้าปลานิล & ผลิตภัณฑ์ ประจำเดือน ธันวาคม 2559.** กลุ่มเศรษฐกิจการประมง กรมประมง.

แก้วตา ลิ้มเฮง. 2556. **โครงการอบรมเชิงปฏิบัติการ เรื่อง การเพาะพันธุ์และแปลงเพศปลานิลเชิงการค้า**. คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตรและอาคารสัตว์น้ำฟาร์มสาธิต คณะสัตวศาสตร์ฯ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสารสนเทศเพชรบุรี.

ขจรเกียรติ์ ศรีนวลสม, บัญญัติ มนเทียรอาสน์ และ จงกล พรมยะ. 2555. ความหลากชนิดของปริมาณแพลงก์ตอนพืช และคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาบึก (Pangasianodon gigas) ด้วยระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกัน. **วารสารวิทยาศาสตร์ มข.**, 40(1), 121-134.

จักรพงษ์ อดทน. 2552. **ชนิดและความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืชในคลองสูบน้ำและบ่อเลี้ยงกุ้งบริเวณบ้านปากคลอง ตำบลนาทุ่ง อำเภอเมือง จังหวัดชุมพร**. ปัญหาพิเศษ. มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

จูอะดี พงศ์มณีรัตน์, กอบศักดิ์ เกตุเหมือน และ ไพบูลย์ บุญลิปตานนท์. 2553. **ผลของการเสริม *Schizochytrium limacinum* (D. Honda&Yokochi, 1998) ในอาหารต่อช่วงระยะเวลาพัฒนาการของตัวอ่อน อัตราการรอดตาย และความทนทานต่อความเครียดในการอนุบาลลูกปูม้า (Portunus pelagicus Linnaeus, 1758).** กรมประมง.

ชนินทร์ แสงรุ่งเรือง. 2556. **คุณภาพน้ำสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง**. ศูนย์ศึกษาการพัฒนาประมงอ่าวคุ้งกระเบน อันเนื่องมาจากพระราชดำริ.

ณาตยา รัตนวงศ์ไพศาล, ประภา โซ๊ะสลาม และ พรพิมล พิมลพันธุ์. 2540. **การใช้น้ำมันปลาทูน่าผสมอาหารสัตว์สำาหรับเลี้ยงไก่กระทง**. ปริญญานิพนธ์ปริญญาตรี. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า.

ทวีศักดิ์ ขวัญไตรรงค์. 2548. **คุณภาพน้ำและความหลากหลายของสาหร่ายในทะเลสาบดอยเต่า จังหวัดเชียงใหม่**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

บัณฑิต ยวงสร้อย, อรพินท์ จินตสถาพร, ประทักษ์ ตาบทิพย์วรรณ และ ส่งศรี มหาสวัสดิ์. 2546. **การเพิ่มระดับกรดไขมันกลุ่มโอเมก้า 3 ในปลานิล (*Oreochromis niloticus*) โดยการใช้น้ำมันปลาทูน่า Increasing of Omega 3 Fatty Acid in Tilapia (*Oreochromis niloticus*) by Using Tuna Oil**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ประเทือง เชาว์วัยกลาง. 2534. **คุณภาพน้ำทางการประมง**. กรุงเทพ: สำนักพิมพ์ ฟิสิกส์เซ็นเตอร์.

พันทิพา พงษ์เพียจันทร์. 2546. **หลักการอาหารสัตว์: โภชนะ เล่ม 1.** กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.

พิเชต พลายเพชร. 2559. การจัดการทางโภชนาการสำหรับการเลี้ยงปลานิล Nutritional Management for Culturing Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**, 14, 12-39.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงษ์ และ นิธิยา รัตนปนนท์. 2561. **Organic food / อาหารเกษตรอินทรีย์.** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1854/organic-food-%E0%B8%AD%E0%B8%B2%E0%B8%AB%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B9%80%E0%B8%81%E0%B8%A9%E0%B8%95%E0%B8%A3%E0%B8%AD%E0%B8%B4%E0%B8%99%E0%B8%97%E0%B8%A3%E0%B8%B5%E0%B8%A2%E0%B9%8C (20 มีนาคม 2561).

เพ็ญพรรณ ศรีสกุลเตียว, สุภัทรา อุไรวรรณ์ และ อาภรณ์ โพธิ์พงศ์วิวัฒน์. 2551. **รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ การรวบรวมความรู้และประสบการณ์ ระบบตลาดข้อตกลง (Contract Farming) ในประเทศไทย: กรณีศึกษาปลานิล**. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.).

มงคล ปริ่มผล. 2533. **การศึกษาสาเหตุและการป้องกันโรคในปลาดุกอุย.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท.

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์. 2540. **คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ**. กรุงเทพ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย.

ไมตรี ดวงสวัสดิ์. 2526. คุณสมบัติของน้ำกับการเลี้ยงปลา. **สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ**, 1-23.

วิทธวัช โมฬี และ สุทิศา เข็มผะกา. 2556. **ผลของระดับน้ำมันปลาทะเลในอาหาร และช่วงระยะเวลาการให้อาหารต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต และส่วนประกอบของกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 ในเนื้อไก่พื้นเมือง**. นครราชสีมา: สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

ศักดิ์ชัย ชูโชติ. 2536. **การเลี้ยงปลาน้ำจืด**. กรุงเทพมหานคร: โอ.เอส. พริ้นติ้ง เฮาส์.

ศิริเพ็ญ ตรัยไชยาพร. 2543. **การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ**. เชียงใหม่: ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สันต์ นาตะสุวรรณ. 2548. **คู่มือปลาน้ำจืด**. กรุงเทพฯ: เพ็ท-แพล้น พับลิชชิ่ง.

สำนักงานมาตรฐานเกษตรอินทรีย์. 2560. **มาตรฐานเกษตรอินทรีย์ มกท.** นนทบุรี.

สิทธิชัย ตันธนะสฤษดิ์. 2549. **ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับคุณภาพน้ำ.** กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ คณะวนศาสตร์ ภาควิชาอนุรักษ์วิทยา.

สุดชาดา ไชยแสง, บัณฑิต ยวงสร้อย และ สุธี วงศ์มณีประทีป. 2556. การเสริม Schizochytrium sp. ในอาหารต่อการเจริญเติบโตและอัตราการรอดตายในปลานิลรุ่น. **แก่นเกษตร,** (ฉบับพิเศษ 1), 129-134.

สุดารัตน์ บวรศุภกิจกุล. 2551. **ชนิดของไขมันที่เหมาะสมในอาหารปลาหมอ**. กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยอาหารสัตว์น้ำจืด.

สุทิน สมบูรณ์ และ วิชิต เสมาชัย. 2557. ผลของปริมาณไขมันและองค์ประกอบของกรดไขมันในอาหารต่อการเจริญเติบโตของปลาโมง. (หน้า 266-274). ใน **การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 52**, 4-7 ก.พ. 2557, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุริยา จงโยธา, สมพงษ์ ดุลย์จินดาชบาพร และ ประวิทย์ สุรนีรนาถ. 2559. ผลของการเสริมโอเมก้า-3 และการเสริมใบมะรุมผงในอาหารเลี้ยงกุ้งฝอย. **วารสารวิจัย**, 9(2), 88-96.

สุวิมล พิทักษ์วงษ์. 2557. **ผลของสัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าในอาหาร ต่ออัตราส่วนระหว่างกรดไขมันชนิดโอเมก้า-6 และโอเมก้า-3 ปริมาณคอเลสเตอรอล ในไข่แดง และระบบภูมิคุ้มกันในไก่ไข่**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

อดิศร พร้อมเทพ. 2560. **กรมประมง จับมือ คณะประมง ม.เกษตร แถลงยืนยัน...มั่นใจมาตรฐานปลานิลไทยปลอดภัยไร้โรค.** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา www.fisheries.go.th (29 ธันวาคม 2560).

อนุสรา แก่นทอง. 2556. **ไบโอฟลอค (Biofloc) กับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ.** [ระบบออนไลน์].

แหล่งที่มา http://www.nicaonline.com/index.php?option=com_content&view=article&id=1486:-biofloc-&catid=42:2012-02-20-03-00-29&Itemid=124 (18 มีนาคม 2561).

อานุภาพ วรรณคนาพล. 2556. **การค้นหาแหล่งคาร์บอนที่เหมาะสมในการผลิต Biofloc ในบ่อเลี้ยงปลานิล (*Oreochromis niloticus,* L.) และปลาดุกบิ๊กอุย (*Clarias gariepinus* x *Clarias macrocephalus*).** คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

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

เอกชัย มาลาพล. 2551. **การบำบัดไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงกุ้งแบบบ่อไร้ดินกลางแจ้งโดยตัวกรองชีวภาพไนตริฟิเคชัน.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Anita Bhatnagar & Pooja Devi. 2013. Water quality guidelines for the management of pond fish culture. **International Journal of Environmental Sciences**, 3(6).

Avnimelech, Y. 1999. Carbon/nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems. **Aquaculture**, 176(3), 227-235.

Avnimelech Y. 2015. **Biofloc Technology – A Practical Guide Book**. 3rd ed. The World Aquaculture Society: Baton Rouge, Louisiana, United States.

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.

Baloi, M., Arantes, R., Schveitzer, R., Magnotti, C. & Vinatea, L. 2013. Performance of Pacific white shrimp Litopenaeus vannamei raised in biofloc systems with varying levels of light exposure. **Aquacultural Engineering**, 52, 39-44.

Bhatnagar, A., Jana, S., Garg, S., Patra, B., Singh, G. & Barman, U. 2004. Water quality management in aquaculture. (pp. 203–210). In **Course manual of summer school on development of sustainable aquaculture technology in fresh and saline waters, CCS Haryana agricultural**. India.

Boyd, C. E. & Tucker. 1998. **Pond aquaculture water quality management**. Boston Kluwer Academic Publishers.

Burdge, G. C. & Calder, P. C. 2005. Conversion of alpha-linolenic acid to longer-chain polyunsaturated fatty acid in human adults. **Reprod. Nutr. Dev**, 45(5), 581-597.

Burford, M. A., P.J. Thompson, R.P. McIntosh, R.H. Bauman & D.C. Pearson. 2004. The contribution of flocculated material to shrimp (Litopenaeus vannamei) nutrition in a high-intensity, zero-exchange system. **Aquaculture**, 232, 525-537(

Caldini, N. N., Cavalcante, D. H., Rocha Filho, P. R. N. & Sa, M. V. C. 2018. Feeding Nile tilapia with artificial diets and dried bioflocs biomass. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, 37(4), 335-341.

Castro-Nieto, L., Castro–Barrera, T., De Lara-Andrade, R., Castro-Mejía, J. & Castro-Mejía, G. 2012. Biofloc systems: a technological breakthrough in aquaculture. Revista Digitaldel Departamento El Hombre y su Ambiente. **Revista Digital del Departamento El Hombre y su Ambiente**, 1(1), 1-5.

Chen, C., Sun, B., Li, X., Li, P., Guan, W., Bi, Y. & Pan, Q. 2013. N-3 essential fatty acids in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus:* Quantification of optimum requirement of dietary linolenic acid in juvenile fish. **Aquaculture**, 416-417, 99-104.

Chhorn Lim, Mediha Yildirim-Aksoy & Phillip Klesius. 2009. **Lipid, fatty Acid requirements of tilapia, dietary supplementation essential for health, reproduction**. [Online]. Available https://www.aquaculturealliance.org/advocate/lipid-fatty-acid-requirements-of-tilapia/ (1 September 2019).

Crab, R., Defoirdt, T., Bossier, P. & Verstraete, W. 2012. Biofloc technology in aquaculture: Beneficial effects and future challenges. **Aquaculture**, 356-357, 351-356.

Dato-Cajegas, C. R. S. & Yakupitiyage, A. 1996. The need for dietary mineral supplementation for Nile tilapia, *Oreochromis niloticus,* cultured in a semi-intensive system. **Aquaculture**, 144(1), 227-237.

Decamp, O., Conquest, L., Cody, J., Forster, I. & Tacon, A. G. J. 2007a. Effect of Shrimp Stocking Density on Size-fractionated Phytoplankton and Ecological Groups of Ciliated Protozoa within Zero-water Exchange Shrimp Culture Systems. **Journal of the World Aquaculture Society**, 38(3), 395-406.

Decamp, O., Conquest, L., Cody, J., Forster, I. & Tacon, A. G. J.. 2007b. Effect of shrimp stocking density on size fractionated phytoplankton and ecological groups of ciliated protozoa within zero-water exchange shrimp culture systems.

Journal of World Aquaculture Society, 38, 395–406.

Eduardo C.R. Lima., Rafael L. Souza., Pamela J. M. Girao., Ítalo F.M.B. & Eudes de S.C. 2018. Culture of Nile tilapia in a biofloc system with different sources of Carbon. **Ciência Agronômica**, 49(3), 458-466.

Ekasari, J., Azhar, M. H., Surawidjaja, E. H., Nuryati, S., De Schryver, P. & Bossier, P. 2014. Immune response and disease resistance of shrimp fed biofloc grown on different carbon sources. **Fish Shellfish Immunol**, 41, 332–339.

El-Sayed, A. F. M. 2004. **Protein Nutrition of Farmed Tilapia: Searching for Unconventional Sources**. (pp. 364-378). The Sixth International Symposium on Tilapia in Aquaculture, Manila.

Finlay B.J. & Esteban G. 1998. Freshwater protozoa: Biodiversity and ecological function. **Biodiversity and Conservation**, 7(9), 1163-1186.

Ganuza, E., Anderson, A. J. & Ratledge, C. 2008. High–cell-Density Cultrivation of Schizochytrium sp. in an Ammonium/pH-Auxotat Fed-Batch system. **Biotechol. Lett**, 30, 1559-1564.

Gonzalez-Felix M. L., Ponce-Palafox J. T., Valenzuela- Quinonez W., Arredondo Figueroa J. L. & Garcia-Ulloa G.M. 2007. Nitrogen budget for a low salinity, zero-water exchange culture system. I. Effect of dietary protein level on the performance of *Litopenaeus vannamei* (Boone). **Aquaculture and Research**, 38, 798–808.

Green, B. W., Schrader, K. K. & Perschbacher, P. W. 2014. Effect of stocking biomass on solids, phytoplankton communities, common off-flavors, and production parameters in a channel catfish biofloc technology production system. **Aquaculture**, 45, 1442-1458.

Guozhi, L., Qi, G., Chaohui, W., Wenchang, L., Dachuan, S., Li, L. & Hongxin, T. 2014. Growth, digestive activity, welfare, and partial cost-effectiveness of genetically improved farmed tilapia (*Oreochromis niloticus)* cultured in a recirculating aquaculture system and an indoor biofloc system. **Aquaculture**, 422-423, 1-7.

Hargreaves, J. 2013. Biofloc production systems for aquaculture. **SRAC, Southern Regional Aquaculture Center Publication**, 4503, 1–12.

Hilge, V. 1985. The influence of temperature on the growth of the European catfish (*Silurus glanis* L.). **Journal of Applied Ichthyology**, 1(1), 27-31.

Jauncey, K. 1998. **Tilapia Feeds and Feeding.** . Scotland: Sterling Pisces Press Ltd.

Ju Z.Y., Forster I., Conquest L., Dominy W., Kuo W.C. & Horgen F.D. 2008. Determination of microbial community structures of shrimp floc cultures by biomarkers and analysis of floc amino acid profiles. **Aquaculture Research**, 39, 118–133.

Kamlangdee, N. & Fan, K. W. 2003. Polyunsaturated fatty acids production by Schizochytrium sp. isolated from mangrove. **Songklanakarin J. Sci. Technol**, 25(5), 643-650.

Kevin K.Schrader., Bartholomew W.Green. & Peter W.Perschbacher. 2015. Development of phytoplankton communities and common off-flavors in a biofloc technology system used for the culture of channel catfish *(Ictalurus punctatus*). **Aquacultural Engineering**, 45, 118-126.

Khan, M. A., Jafri, A. K. & Chanda, N. K. 2004. Growth and body composition of rohu, Labeo rohita (Hamilton), fed compound diet: winter feeding and rearing to marketable size. **J. Applied Ichthyol**, 20(4), 265-273.

Lawson, T. B. 1995. **Fundamental of Aquacultural Engineering**. New York: Chapman and Hall.

Long, L., Yang, J., Li, Y., Guan, C. & Wu, F. 2015. Effect of biofloc technology on growth, digestive enzyme activity, hematology, and immune response of genetically improved farmed tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture**, 448, 135-141.

Luchtman, D. W. & Song, C. 2013. Cognitive enhancement by omega-3 fatty acids from child-hood to old age: Findings from animal and clinical studies. **Neuropharmacology**, 64, 550-565.

Mader, M., Schmidt, C., van Geldern, R. & Barth, J. A. C. 2017. Dissolved oxygen in water and its stable isotope effects: A review. **Chemical Geology**, 473(Supplement C), 10-21.

Majhi, S. K. & Das, S. K. 2014. Thermal tolerance, oxygen consumption and stress response in *Danio dangila* and *Brachydanio rerio* (Hamilton, 1822) acclimated to four temperatures. **Turk. J. Fish. Aquat. Sci**, 13, 359-365.

Manning, B. B., Li, M. H., Robinson, E. H. & Peterson, B. C. 2006. Enrichment of channel

catfish (Ictalurus punctatus) fillets with conjugated linoleic acid and omega-3 fatty acids by dietary manipulation. **Aquaculture**, 261(1), 337-342.

Mapato, C., M. Wanapat & A. Cherdthong. 2010. Effects of urea treatment of straw and dietary level of vegetable oil on lactating dairy cows. **Trop. Anim. Health Prod**, 42, 1635-1642.

Morel, P. C. H., J. Leong, W.G.M. Nuijten, R.W. Purchas & B.H.P. Wilkinson. 2013. Effect of lipid type on growth performance, meat quality and the content of long chain n-3 fatty acids in pork meat. **Meat Science**, 95, 151-159.

National Research Council. 2000. **Nutrient Requirements of Beef Cattle**. Washington, DC: National Academy Press.

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

Park, Y., J. Kim, A.G. Scrimgeour, M.L.Condlin, D. Kim & Y. Park. 2013. Conjugated linoleic acid and calcium co-supplementation improves bone health in ovariectomised mice. **Food Chemistry**, 140(0), 280-288.

Ray, A. J., Seaborn, G., Leffler, J. W., Wilde, S. B., Lawson, A. & Browdy, C. L. 2010. Characterization of microbial communities in minimal-exchange, intensive aquaculture systems and the effects of suspended solids management. **Aquaculture**, 310(1), 130-138.

Robert Henrikson. 2011. **Special report: Spirulina part** 1 **origins and biology**. [Online]. Available http://www.algaeindustrymagazine.com/special-report-spirulina-part-1-origins-and-biology/ (12 September 2019).

Sander, T. A. B. 1994. Polyunsaturated fatty acid in the food chain in Europe. **AM. j. Clin Nutr**, 71, 176S-178S.

Santhana Kumar, V., Pandey, P. K., Anand, T., Bhuvaneswari, G. R., Dhinakaran, A. & Kumar, S. 2018. Biofloc improves water, effluent quality and growth parameters of *Penaeus vannamei* in an intensive culture system. **Journal of Environmental Management**, 215, 206-215.

Santhosh B. & Singh NP. 2007. **Guidelines for water quality management for fish culture in Tripura.** ICAR Research Complex for NEH Region Tripura Center.

Scott, B. D., K. Salie. & H.B. Stander. 2016. A growth comparison among three commercial tilapia species in biofloc system. **Aquaculture International**, 24,

1309-1322.

Sittplangkoon, P. 2013. **Effeciency of inorganic nitrogen Treatment of biological sludge from biofloc Aquaculture System.** Thesis Master Degree. Chulalongkorn University.

Sofia, A., Liu, W. T., Ong, S. L. & Ng, W. J. 2014. **In-Situ Characterizationof Microbial Community in an A/O Submerged Membrane Bioreactorwith Nitrogen Removal**. Water Sci. Technol, 50(8), 41-48.

Spielmann D., Bracco U. & Traitler H. 2014. Alternative lipids to usual 6 PUFA: linoleic acid, linoleic acid, Stearidonic acid, EPA, etc. **JPEN J Parenter Enteral Nutr**, 12(6 suppl), 111s-123s.

Spiller GA. 1996. **Lipid in Humen Nutrition Handbook, Mannuals, etc.**: CRS Press, INC.

Sugeng Heri Suseno, Saraswati, Sri Hayati & Ayu Fitri Izaki. 2014. Fatty Acid Composition of Some Potential Fish Oil from Production Centers in Indonesia. **Oriental Journal of Chemistry**, 30(3), 975-980.

Tran-Duy, A., Smit, B., van Dam, A. A. & Schrama, J. W. 2008. Effects of dietary starch and energy levels on maximum feed intake, growth and metabolism of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture**, 277(3), 213-219.

Voet, D. & Voet, J. G. 1999. **Biochemistry**. New York: John Wiley & Son. Inc.

Watanabe, T. 1982. Lipid nutrition in fish. **Comp. Biochem. Physiology**, 73B(3-15.

Widanarni, Ekasari, J. & Maryam, S. 2012. Evaluation of biofloc technology application on water quality and production performance of red tilapia Oreochromis sp. cultured at different stocking densities. **HAYATI Journal of Biosciences**, 19(2), 73-80.

Wing-Keong Ng. 2005. **Lipid nutrition of farmed tilapia**. [Online]. Available https://www.aquaculturealliance.org/advocate/lipid-nutrition-of-farmed-tilapia/?savePDF=d41d8cd98f00b204e9800998ecf8427e&article=lipid-nutrition-of-farmed-tilapia (12 July 2019).

Wurts, W. A. & R. M. Durborow. 1992. Interactions of pH, carbon dioxide, alkalinity and hardness in fish ponds. **Southern Regional Aquaculture Center Publication**, 464(1-4.

Xu, X. L., Ji, W. J., Castell, J. D. & O'Dor, R. K. 1994. Essential fatty acid requirement of the Chinese prawn, *Penaeus chinensis*. **Aquaculture**, 127(1), 29-40.

Yanbo, W., Wenju, Z., Weifen, L. & Zirong, X. 2006. Acute toxicity of nitrite on tilapia (Oreochromis niloticus) at different external chloride concentrations. **Fish Physiology and Biochemistry**, 32, 49-54.

Yongmanitchai, W., W. Chatdumrong, S. Limtong & W. Worawattanmateekul. 2007. Optimization of docosahexaenoic acid (DHA) production and improvement of astaxanthin content in a mutant *Schizochytrium limacinum* isolated from mangrove forest in Thailand. **Kasetsart J. (Nat. Sci.)**, 41(2), 324-334.

Zita H. & Hermansson M. 1994. Effects of ionic strength on bacterial adhesion and stability of activated flocs in wastewater activated sludge systems. **Appl Environ Microbiol**, 60, 3041-3048.

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นางสาวเมรานี อิ่นคำ
เกิดเมื่อ	6 มกราคม 2535
ประวัติการศึกษา	มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนแม่ทาวิทยาคม มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนแม่ทาวิทยาคม ปริญญาตรี คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ (สาขาการประมง) มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ปัจจุบัน ศึกษาระดับปริญญาโท คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ (สาขาเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ประวัติการทำงาน	2558-2559 เจ้าหน้าที่ขาย บริษัท เบทาโกรเกษตรอุตสาหกรรม จำกัด สำนักงานกำแพงเพชร

มหาวิทยาลัยแม่โจ้ MAEJO UNIVERSITY