ผลของระดับคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N) ต่อกลิ่นโคลนของปลานิล ในบ่อไบโอฟลอค

สายสุนีย์ จิตมโนวรรณ์

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ
มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2563

ผลของระดับคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N) ต่อกลิ่นโคลนของปลานิล
ในบ่อไบโอฟลอค

สายสุนีย์ จิตมโนวรรณ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ
สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2563

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

ผลของระดับคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N) ต่อกลิ่นโคลนของปลานิล
ในบ่อไบโอฟลอค

สายสุนีย์ จิตมโนวรรณ์

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ

พิจารณาเห็นชอบโดย **อาจารย์ที่ปรึกษา**

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุดาพร ตงศิริ)
วันที่..................เดือน..................พ.ศ. ....

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

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

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

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

ชื่อเรื่อง	ผลของระดับคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N) ต่อกลิ่นโคลนของปลานิล ในบ่อไบโอฟลอค
ชื่อผู้เขียน	นางสาวสายสุนีย์ จิตมโนวรรณ์
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุดาพร ตงศิริ

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันมีการเลี้ยงปลาแบบหนาแน่นที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก คือการผลิตปลานิลด้วยระบบไบโอฟลอค ซึ่งเป็นการเลี้ยงที่ระดับความหนาแน่นสูง เพื่อให้ได้ผลผลิตที่มากขึ้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดการเลี้ยงปลานิลที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอคที่มีกลิ่นโคลนต่ำ โดยมีการควบคุมคุณภาพน้ำ ระดับคาร์บอนต่อไนโตรเจน ทำการทดลองเป็นระยะเวลา 90 วัน แบ่งการทดลองออกเป็น 2 การทดลอง คือ การทดลองที่ 1 ตรวจสอบกลิ่นโคลน และตรวจสอบคุณภาพน้ำ ในฟาร์ม 1 ณ บ้านแม่กุ้งหลวง ต.ทุ่งต้อม อ.สันป่าตอง จ.เชียงใหม่ และฟาร์ม 2 ณ บ้านห้วยส้ม ต.สันกลาง อ.สันป่าตอง จ.เชียงใหม่ และการทดลองที่ 2 ดำเนินการศึกษาที่คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ โดยมีการเลี้ยงปลานิลที่ระดับคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N) 14:1 (T1) และการเลี้ยงปลานิลที่ระดับคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N) 10:1 (T2) จากการศึกษา พบว่าการทดลองที่ 1 ฟาร์ม 1 ณ บ้านแม่กุ้งหลวง ต.ทุ่งต้อม อ.สันป่าตอง จ.เชียงใหม่ พบว่า มีปริมาณฟลอคที่ตกตะกอน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.58±4.13 ml/l และยังพบกลิ่นโคลนในบ่อเลี้ยงปลานิล โดยมีค่าจีออสมิน เฉลี่ยเท่ากับ 0.10±0.18 µg/l และค่าเอ็มไอบี เฉลี่ยเท่ากับ 0.12±0.21 µg/l ส่วนค่าคุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์ที่สัตว์น้ำสามารถอาศัยอยู่ได้ ในส่วนของฟาร์ม 2 ณ บ้านห้วยส้ม ต.สันกลาง อ.สันป่าตอง จ.เชียงใหม่ พบว่า มีปริมาณฟลอคน้อย มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.20±0.62 ml/l และยังพบกลิ่นโคลนในบ่อเลี้ยงปลานิล โดยมีค่าจีออสมิน เฉลี่ยเท่ากับ 0.31±0.11 µg/l และค่าเอ็มไอบี เฉลี่ยเท่ากับ 0.18±0.19 µg/l ส่วนค่าคุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์ที่สัตว์น้ำสามารถอาศัยอยู่ได้ ส่วนผลการศึกษาของการทดลองที่ 2 การเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอคที่ระดับคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N) 14:1 (T1) และการเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอคที่ระดับคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N) 10:1 (T2) ทดลองในบ่อขนาด 2 ตัน ทำการทดลองเป็นระยะเวลา 90 วัน พบว่า ค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจน มีค่าเท่ากับ 14:1 และค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจน มีค่าเท่ากับ 10:1 และปริมาณฟลอคที่ตกตะกอน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 52.64±1.84 และ 34.73±13.9 ml/l ในบ่อที่มีคาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 14:1 และ 10:1

ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมตามเกณฑ์ และพบกลิ่นโคลนในบ่อเลี้ยงปลานิล มีค่าสูงถึง 0.10 µg/l ส่วนค่าคุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์ที่สัตว์น้ำสามารถอาศัยอยู่ได้ ผลการเจริญเติบโต มีน้ำหนักเฉลี่ย ความยาวเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น และอัตราการแลกเนื้อเพิ่มขึ้น มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ซึ่งมีผลต่ออัตรารอดของปลานิลของบ่อที่มีระดับคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N) 14:1 และ 10:1 แตกต่างกัน แต่เมื่อเทียบกับต้นทุนค่าอาหาร พบว่า ที่คาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 14:1 มีต้นทุนค่าอาหารต่ำกว่าคาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 10:1

คำสำคัญ : คาร์บอนต่อไนโตรเจน, ไบโอฟลอค, ปลานิล (Oreochromis niloticus), กลิ่นโคลน

MAEJO UNIVERSITY

Title	EFFECT OF CARBON/NITROGEN RATIO (C:N) ON GEOSMIN IN NILE TILAPIA (*Oreochromis niloticus*) UNDER BIOFLOC SYSTEM
Author	Miss Saisunee Jitmanowan
Degree	Master of Science in Fisheries Technology and Aquatic Resources
Advisory Committee Chairperson	Assistant Professor Dr. Sudaporn Tongsiri

ABSTRACT

Nowadays, intensive aquaculture receives much attention from many exporters, especially producing Nile tilapia in the biofloc system. These fish are raised in high-density water; consequently, more products can be produced. The researcher, thus, has the idea of culturing tilapia in a biofloc system to reduce muddy *odor* by water quality control and Carbon to nitrogen ratio adjustment. The period of culture was 90 days. The experiment was divided into 2 parts. The first part, the examination the Off-flavor and the water quality (experiment 1). These experiment were carried out in 2 farms; Farm 1 at Baan Mae Kung Luang, Tung Tom Subdistrict, San Pa Tong District, Chiang Mai Province and Farm 2 at Ban Huay Som, San Klang Subdistrict, San Pa Tong District, Chiang Mai Province. Moreover, the study was conducted at the Faculty of Fisheries Technology and Aquatic Resources, Maejo University (experiment 2) by comparing the carbon to nitrogen 14:1 (T1) and the carbon to nitrogen 10:1 (T2). Referring to Experiment 1 results, Farm 1 at Baan Mae Kung Luang, Tung Tom Subdistrict, San Pa Tong District, Chiang Mai Province, it was found that the floc level was 4.58±4.13 ml/l and also found Off-flavor in the tilapia pond. Geosmin value was 0.10±0.18 µg/l and MIB value was 0.12±0.21 µg/l. The water quality within the fish pond was in the range of the standard of aquaculture. And Farm 2 at Ban Huay Som, San Klang Subdistrict, San Pa Tong District, Chiang Mai Province, it was found that the settled floc particles was 1.20±0.62 ml/l and also found Off-flavor in the tilapia pond. Geosmin value was 0.31±0.11 µg/l and MIB value was 0.18±0.19 µg/l. The water quality

within the fish pond was in the range of the standard of aquaculture. In experiment 2, tilapia had been cultured in the biofloc system with the carbon to nitrogen 14:1 (T1) and the carbon to nitrogen 10:1 (T2) at the Faculty of Fisheries Technology and Aquatic Resources, Maejo University. the Faculty of Fisheries Technology and Aquatic Resources, Maejo University for 90 days. The settled floc particles were in good levels; their values were 52.64±1.84 and 34.73±1.39 ml/l, respectively. Furthermore, it was found the off-flavor in the tilapia pond. The water quality within the fish pond was in the range of the standard of aquaculture. There were statistically different ($P<0.05$) in growth rate including weight gain and increased standard length as well as feed conversion ratio (FCR). This process affected the survival rate of tilapia fish fed with protein levels of 25% and 35%. But when feed costs were compared, it was found that tilapia grew in the carbon to nitrogen 14:1 had the lower feed cost than the ones grew in the carbon to nitrogen 10:1.

Keywords : Carbon/Nitrogen, Biofloc, Nile Tilapia (Oreochromis niloticus), Off-flavor

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุดาพร ตงศิริ ประธานกรรมการที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.นิวุฒิ หวังชัย กรรมการที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุดมลักษณ์ สมพงษ์ กรรมการที่ปรึกษา ผู้ให้ความเมตตากรุณา ช่วยเหลือสนับสนุนและให้คำแนะนำกับปัญหาอุปสรรคต่าง ๆ สำหรับการทำวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด ทั้งสละเวลาอันมีค่าในการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

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

ขอขอบพระคุณ สถาบันบริการตรวจสอบคุณภาพและมาตรฐานผลิตภัณฑ์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ เครื่องมือวิเคราะห์ GC/MS และขอขอบพระคุณนายพันธ์ลพ สินธุยา ร่วมทั้งบุคลากรทุกท่านในสถาบันฯ ที่ให้แนวทางในการปฏิบัติเพื่อใช้ในการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณคณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ได้อนุเคราะห์ให้ใช้สถานที่ห้องปฏิบัติการ และอุปกรณ์ต่าง ๆ ในการวิจัยในครั้งนี้ รวมทั้งขอขอบคุณบุคลากรทุกท่านในคณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ ที่ให้ความช่วยเหลือในทุก ๆ ด้าน

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา และญาติพี่น้องที่ให้การเลี้ยงดู ส่งเสริมการศึกษา ให้การสนับสนุนทั้งด้านการเรียนและการดำเนินชีวิต ให้คำปรึกษา คำแนะนำ และเป็นกำลังใจที่ดี จนทำให้ผู้เขียนประสบความสำเร็จในการศึกษา

สายสุนีย์ จิตมโนวรรณ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ช

สารบัญ ..... ซ

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญภาพ ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ 1

ความสำคัญของปัญหา 1

วัตถุประสงค์ 2

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

บทที่ 2 ตรวจเอกสาร 3

ปลานิล 3

กลิ่นสาบโคลน 4

ไบโอฟลอค 7

ทฤษฎี C:N ratio 12

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 17

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย 21

วัสดุอุปกรณ์ 21

สารเคมี 22

วิธีการดำเนินการ 23

การทดลองที่ 1 ศึกษาการเลี้ยงปลานิลในบ่อลอยของฟาร์มเกษตรกร อ.สันป่าตอง 23

การทดลองที่ 2 ศึกษาการเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค ณ คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ 25
การวิเคราะห์ข้อมูล 31
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง....33
ผลการทดลอง 33
การทดลองที่ 1 ศึกษาการเลี้ยงปลานิลในบ่อลอยของฟาร์มเกษตรกร อ.สันป่าตอง 33
การทดลองที่ 2 ศึกษาการเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค ณ คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ 36
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง 43
บรรณานุกรม 44
ภาคผนวก 50
ผลงานวิจัยตีพิมพ์เผยแพร่ 56
ประวัติผู้วิจัย 57

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 สรุปการคำนวณคาร์บอนต่อไนโตรเจน 31

ตารางที่ 2 ค่าจีออสมิน ค่าเอ็มไอบี และค่ามาตรฐานของจีออสมิน เอ็มไอบี ของบ่อเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค ฟาร์ม 1 ณ บ้านแม่กุ้งหลวง ต.ทุ่งต้อม อ.สันป่าตอง จ.เชียงใหม่ และฟาร์ม 2 ณ บ้านห้วยส้ม ต.สันกลาง อ.สันป่าตอง จ.เชียงใหม่ 35

ตารางที่ 3 ค่าคุณภาพน้ำบางประการ ของบ่อเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค ฟาร์ม 1 ณ บ้านแม่กุ้งหลวง ต.ทุ่งต้อม อ.สันป่าตอง จ.เชียงใหม่ 35

ตารางที่ 4 ค่าคุณภาพน้ำบางประการ ของบ่อเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค ฟาร์ม 2 ณ บ้านห้วยส้ม ต.สันกลาง อ.สันป่าตอง จ.เชียงใหม่ 35

ตารางที่ 5 ค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจน ปริมาณฟลอคที่ตกตะกอน ค่าจีออสมิน และเอ็มไอบี ของบ่อเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค ณ คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ 38

ตารางที่ 6 ค่าคุณภาพน้ำบางประการ ของบ่อเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค ณ คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ 40

ตารางที่ 7 การศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของปลานิลในระบบไบโอฟลอค 42

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 การดูดซึมสารประกอบจีออสมินและเอ็มไอบีผ่านเนื้อเยื่อต่างๆเข้าไปสะสมในตัวปลา 4

ภาพที่ 2 โครงสร้างทางเคมีของจีออสมิน (A) และเอ็มไอบี (B)..5

ภาพที่ 3 วิถีการสังเคราะห์สารให้กลิ่นโคลนจีออสมินและเอ็มไอบี 6

ภาพที่ 4 บ่อการทดลองฟาร์ม 1...23

ภาพที่ 5 บ่อการทดลองฟาร์ม 2...24

ภาพที่ 6 การวัดปริมาณฟลอคที่ตกตะกอน โดยใช้ Imhoff Cone..24

ภาพที่ 7 บ่อการทดลองขนาด 2 ตัน 26

ภาพที่ 8 วิธีการตรวจสอบกลิ่นโคลน..27

ภาพที่ 9 การวัดปริมาณฟลอคที่ตกตะกอน โดยใช้ Imhoff Cone..28

ภาพที่ 10 แผนผังการคำนวณปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนที่ไบโอฟลอคต้องการในแต่ละวันเพื่อกำจัดไนโตรเจนที่เกิดขึ้นในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำอย่างหนาแน่น (คาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 14:1).............29

ภาพที่ 11 แผนผังการคำนวณปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนที่ไบโอฟลอคต้องการในแต่ละวันเพื่อกำจัดไนโตรเจนที่เกิดขึ้นในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำอย่างหนาแน่น (คาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 10:1).............30

ภาพที่ 12 แผนการดำเนินงานของการทดลองที่ 1 และ 2...32

บทที่ 1
บทนำ

ความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยเป็นหนึ่งในประเทศผู้ผลิตสินค้าประมงที่สำคัญของโลก โดยผลผลิตจากภาคการประมงประกอบด้วย สัตว์น้ำที่ได้จากแหล่งน้ำธรรมชาติและสัตว์น้ำที่ได้จากการเพาะเลี้ยง อย่างไรก็ตามผลการจับสัตว์น้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติโดยเฉพาะจากการทำประมงทะเล มีแนวโน้มลดลงในขณะที่ผลผลิตจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเพิ่มขึ้น และเป็นที่คาดหวังว่าจะเข้ามาทดแทนผลการจับสัตว์น้ำที่ลดลงจากการทำประมงในแหล่งน้ำธรรมชาติได้บางส่วน จากข้อมูลขององค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติในปี 2554 พบว่า ผลผลิตจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำของประเทศไทยมีส่วนแบ่งในผลผลิตรวมจากภาคการประมงอยู่ร้อยละ 35.12 แม้ว่าจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ก็ยังไม่สามารถทดแทนการลดลงของผลการจับสัตว์น้ำจากการทำประมงได้เต็มที่ (พุทธ, 2554; เรืองไร และคณะ, 2558) ซึ่งในปัจจุบันมีการเลี้ยงปลาแบบหนาแน่นที่กำลังได้รับความสนใจจากผู้ส่งออก คือการผลิตปลานิลด้วยระบบไบโอฟลอค ซึ่งเป็นการเลี้ยงที่ระดับความหนาแน่นสูง เพื่อที่ให้ได้ผลผลิตที่มากขึ้น ระบบไบโอฟลอคมีแนวคิดที่จัดการให้ของเสียที่เกิดจากสัตว์น้ำ โดยใช้ตะกอนจุลินทรีย์หรือฟลอคมาช่วยในการย่อยสลายซากของเสียที่เกิดจากสัตว์น้ำ สามารถกลับไปเป็นอาหารของสัตว์น้ำเหล่านั้นอีก ของเสียจากการขับถ่ายของสัตว์น้ำ รวมทั้งของเสียอื่นๆ จะถูกเปลี่ยนไปเป็นฟลอค ซึ่งฟลอคเหล่านี้ก็คือสารประกอบโปรตีน เมื่อสัตว์น้ำกินฟลอคเข้าไปก็เท่ากับว่าสัตว์น้ำได้กินอาหารที่มีโปรตีน และจุลินทรีย์ในไบโอฟลอคก็จะเป็นตัวที่คอยควบคุมคุณภาพน้ำภายในบ่อโดยอัตโนมัติ ซึ่งเหมาะสมในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในสภาวะที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำน้อย ส่งผลให้สัตว์มีสุขภาพดีตามไปด้วย (Avnimelech, 2015; Azim and Little, 2008; Crab et al., 2012; Schveitzer et al., 2013) การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดหรือสัตว์ทะเลที่ เลี้ยงในน้ำที่มีความเค็มต่ำ บ่อยครั้งจะพบปัญหาคุณภาพผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำมีกลิ่นโคลน หรือกลิ่นดิน (สมชาย, 2551) สารประกอบหลักที่ก่อให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ ได้แก่ จีออสมิน (Geosmin) และเอ็มไอบี (MIB) ทำให้สัตว์น้ำไม่เป็นที่นิยมบริโภค เกิดขึ้นจากการที่ปลากินสารประกอบกลิ่นไม่พึงประสงค์เข้าไปโดยตรง หรือมีการปนเปื้อนกับสิ่งที่ปลากินหรือผ่านเข้าสู่ตัวปลาโดยการดูดซึมในส่วนของอวัยวะต่างๆ (Tanchotokul, 1990) และที่สำคัญมากคือแม้มีการสะสมในปริมาณน้อยก็ส่งผลกระทบต่อคุณภาพสัตว์น้ำได้

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดการเลี้ยงปลานิลที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอคที่มีกลิ่นโคลนต่ำ โดยมีการควบคุมคุณภาพน้ำ ระดับคาร์บอนต่อไนโตรเจน และตรวจสอบกลิ่นในน้ำจากบ่อไบโอฟลอคด้วยเทคนิคจากเครื่องมือขั้นสูง เพื่อผลิตปลานิลให้มีคุณภาพที่ดี (ไม่มีกลิ่นโคลน) ในระบบการเลี้ยงไบโอฟลอค

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาปัญหากลิ่นโคลนของปลานิลที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอค
2. เพื่อศึกษาระดับคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมในการเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค
3. เพื่อผลิตปลานิลให้มีคุณภาพที่ดี (ไม่มีกลิ่นโคลน) ในระบบการเลี้ยงไบโอฟลอค

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. พัฒนาระบบการเลี้ยงไบโอฟลอคที่ทำให้เนื้อปลานิลมีคุณภาพที่ดี (ไม่มีกลิ่นโคลน)
2. ทราบปัญหาการเกิดกลิ่นโคลนในปลานิลที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอค

บทที่ 2
ตรวจเอกสาร

ปลานิล

รูปร่างและลักษณะของปลานิล

ปลานิลเป็นปลาน้ำจืดชนิดหนึ่งในวงษ์ปลาหมอสี (Cichlidae) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Oreochromis niloticus* เป็นปลาเศรษฐกิจ แพร่ขยายพันธุ์ง่าย และมีรสชาติดี ลักษณะทั่วไปของปลานิลมีรูปร่างคล้ายปลาหมอเทศ (*Oreochromis mossambicus*) แตกต่างกันที่ปลานิลมีลายสีดำและจุดสีขาวสลับกันไป บริเวณครีบหลัง ครีบก้นและลำตัวมีสีเขียวปนน้ำตาล มีลายดำพาดขวางลำตัวมีความยาวประมาณ 10-30 เซนติเมตร หัวจะมีลักษณะเล็กลาดเรียบ บริเวณริมฝีปากล่างกับริมฝีปากบนจะเสมอกัน ขอบตามีสีแดง ที่กระดูกแก้มจะมีจุดสีเข้มอยู่หนึ่งจุด ที่แก้มจะมีเกล็ดอยู่ด้วย 4 แถว ลำตัวป้อมมีสีเขียวปนน้ำตาลและมีลายพาดขวางประมาณ 9-10 แถว ระยะห่างระหว่างแถวขวางแต่ละอันจะกว้างกว่าความกว้างของแถวเล็กน้อย ลักษณะของลายจะพาดขวางจากส่วนหลังมายังส่วนท้องอย่างสมบูรณ์โดยจะไม่แตกเป็นแฉก ด้านหลังหนา ที่บริเวณส่วนอ่อนของครีบหลัง ครีบก้น และครีบหางจะมีลายประจุดสีขาวและเส้นสีดำตัดขวาง (เพิ่มพูน, 2531)

การเลี้ยงปลานิล

เพิ่มพูน (2531) กล่าวว่า การเลี้ยงปลามีอยู่หลายแบบด้วยกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความนิยมของผู้เลี้ยงและปลาแต่ละชนิด การเลี้ยงปลานิลมีอยู่ 3 แบบ คือ

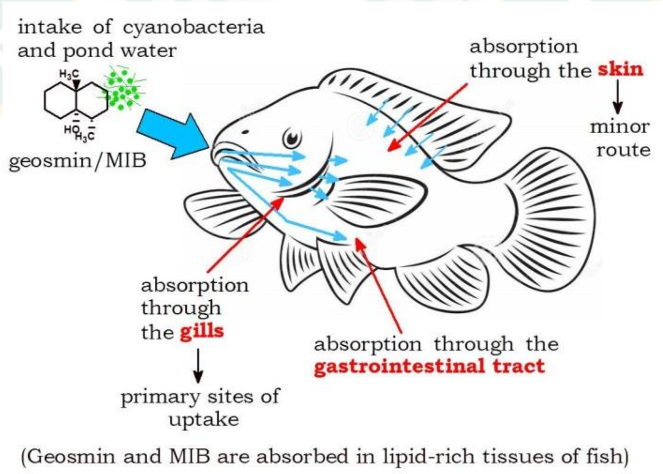
1. ปล่อยเลี้ยงรวมกันหลายรุ่น การเลี้ยงโดยวิธีนี้ในบ่อเดียวกันจะเป็นทั้งที่เพาะพันธุ์และเลี้ยงจนเป็นปลาใหญ่ การปล่อยปลาลงเลี้ยงจะปล่อยหลายขนาดพร้อมกัน พอเลี้ยงไปได้ประมาณ 2 - 3 เดือนก็เริ่มทยอยจับปลาใหญ่ที่ได้ขนาดตามที่ตลาดต้องการ และหลังจากเลี้ยงได้ 8 - 12 เดือนก็จะทำการถ่ายน้ำครั้งหนึ่งโดยวิดน้ำบางส่วนออกแล้วเติมใหม่แทน เมื่อเห็นว่าปลาในบ่อเหลือน้อยก็จะจัดการปล่อยปลาลงบ่อเพิ่มขึ้นอีก

2. ปล่อยเลี้ยงรุ่นเดียว ในบ่อหนึ่งๆ จะปล่อยปลาที่มีขนาดใกล้เคียงกันลงเลี้ยงเพียงครั้งเดียว เมื่อเลี้ยงปลาโตได้ขนาดตามที่ต้องการก็จะวิดบ่อจับปลา คัดปลาที่มีขนาดใหญ่ตามต้องการออกจำหน่าย ส่วนปลาขนาดเล็กเก็บไว้สำหรับทำพันธุ์ต่อไป การเลี้ยงโดยวิธีนี้มีข้อดีที่ว่า การเจริญเติบโตของปลาแต่ละตัวดี และได้ขนาดที่ใกล้เคียงกัน

3. การเลี้ยงแบบควบคุมการสืบพันธุ์ วิธีนี้เป็นวิธีหลีกเลี่ยงปัญหาการเกิดลูกปลาขนาดที่ไม่ต้องการในบ่อหนาแน่นเกินไป

กลิ่นสาบโคลน

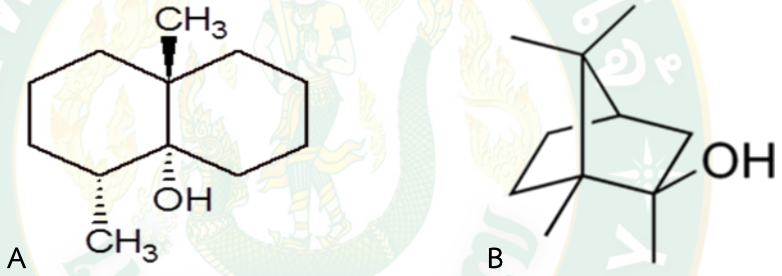
การเกิดกลิ่นโคลนเกิดจากสารตัวหลัก 2 ชนิด คือ จีออสมิน (Geosmin) และเอ็มไอบี (2-Methyl Iisoborneol: MIB) แต่หลักๆ เกิดจากจีออสมิน เนื่องจากสาเหตุหลักของกลิ่นโคลนมักเกิดจากจีออสมิน ที่ผลิตจากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและแบคทีเรีย ส่วนเอ็มไอบีถูกผลิตขึ้นจากสาหร่ายสกุล *Lyngbya* sp. เป็นหลัก (วรพงษ์, 2545) โครงสร้างประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) สารประกอบจีออสมินมีสมบัติทั่วไป คือ ละลายในไขมันได้ดี ไม่ชอบน้ำสูง เป็นสารประกอบแอลกอฮอล์ที่อิ่มตัว ระเหยได้ (Saturated Cyclic Tertiary Alcohol) (ภาพที่ 2) เป็นสารแปลกปลอมสำหรับสิ่งมีชีวิต โดยกระจายตัวและสะสมในเนื้อเยื่อที่มีส่วนประกอบของไขมันสูง เมื่อเกิดการสะสมในร่างกายจะขจัดออกได้ยาก จึงก่อให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ขึ้นได้ในผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำแปรรูป (วรพงษ์, 2545) สังเคราะห์ขึ้นโดยสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (Blue - Green Algae) สกุล *Oscillatoria* sp., *Microcystis* sp., *Anabaena* sp., *Lyngbya* sp., *Aphanizomenon* sp., *Symploca* sp., และ *Phormidium* sp. และแบคทีเรียสกุล *Actinomyces* sp. *Streptomyces* sp., *Actinomadura* sp. และ *Nocardia* sp. (สมชาย, 2551)



ภาพที่ 1 การดูดซึมสารประกอบจีออสมินและเอ็มไอบีผ่านเนื้อเยื่อต่างๆเข้าไปสะสมในตัวปลา

ที่มา: Gutierrez et al. (2013)

ปัญหากลิ่นโคลนอาจเกิดขึ้น เนื่องจากปลากินสารประกอบกลิ่นโคลนเข้าไปโดยตรง หรือมีการปนเปื้อนกับสิ่งที่ปลากิน หรือผ่านเข้าสู่ตัวปลาโดยการดูดซึมในส่วนของอวัยวะต่างๆ สัตว์น้ำสามารถดูดซึมสารที่ก่อให้เกิดกลิ่นโคลนผ่านเหงือก หรือเนื้อเยื่อต่างๆ ที่สัมผัสน้ำ มากกว่าการกินสาหร่ายหรือแบคทีเรียที่ผลิตสารโดยตรงและจะไปสะสมอยู่ในร่างกายโดยเฉพาะเนื้อเยื่อที่มีไขมันสูง (Howgate, 2004) ดังภาพที่ 1 ขณะที่ (Johnsen and Lloyd, 1992) กล่าวว่า การดูดซึมและสะสมสารที่ก่อให้เกิดกลิ่นโคลนขึ้นอยู่กับ ปัจจัยต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิของน้ำ ปริมาณไขมันในปลา โดยปลาที่มีปริมาณไขมันมากสามารถสะสมสารประกอบกลิ่นโคลนได้มากกว่าปลาที่มีไขมันต่ำ ส่วน (Rungreungwudhikrai, 1995) พบว่า ปลานิลจากบ่อเลี้ยงในภาคกลางมีความเข้มข้นของสารกลิ่นโคลนในเนื้อสูง เมื่อใช้อาหารสำเร็จรูปร่วมกับการใช้ปุ๋ยในบ่อ โดยบ่อที่ใส่ปุ๋ยยูเรียมีปริมาณสารกลิ่นโคลนในเนื้อสูงกว่าการใช้ปุ๋ยมูลสัตว์ ส่วนบ่อที่ให้อาหารสำเร็จรูปอย่างเดียวพบว่ามีสารกลิ่นโคลนในเนื้อปลาต่ำ



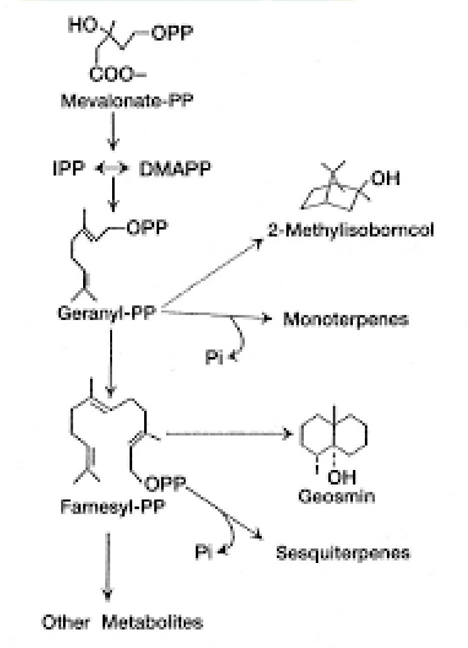
ภาพที่ 2 โครงสร้างทางเคมีของจีออสมิน (A) และเอ็มไอบี (B)

ที่มา: Izaguirre et al. (1982)

สมบัติทางชีวภาพของ Geosmin

Geosmin เป็นสารผลิตภัณฑ์ที่เรียกว่า “Secondary Metabolite Product” จากปฏิกิริยาเมตาบอลิซึมที่เกิดขึ้นจากการสังเคราะห์ทางชีวภาพในวิถีเทอร์พีน (Terpene Pathway) ภาพที่ 3 ในสิ่งมีชีวิตกลุ่มสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน และขั้นตอนการเกิดโฟโตเทียล (Phototial) ของคลอโรฟิลล์-เอ (Chlorophyll a) ดังนั้น Geosmin จึงเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์-เอ ด้วยเหตุนี้เมื่ออยู่ภายใต้สภาวะการเจริญเพิ่มจำนวนของสาหร่ายที่จำกัด สาร Geosmin จึงถูกสะสมเพิ่มขึ้น แต่ก็พบว่าสัดส่วนของ Geosmin กับคลอโรฟิลล์-เอ นั้นจะมีความแปรผันไม่แน่นอน Geosmin มาจากภาษากรีก 2 คำ คือ Ge ที่ แปลว่า “โลก” และ Osme ที่แปลว่า “กลิ่น” ได้รับการค้นพบและตั้งชื่อในปี ค.ศ. 1965 โดย N. N. Gerber และ H. A. Lechevalier ซึ่งในช่วงเวลาหลังฝนตกจมูกคนเราสามารถตรวจจับ กลิ่นนี้ได้ที่ความเข้มข้นต่ำถึง 0.1 ส่วนในพันล้านส่วน (0.1 ไมโครกรัม/กิโลกรัม =

0.1x10^{-6} กรัม/ลิตร) ในอากาศ และ 0.02 ไมโครกรัม/กิโลกรัม ในน้ำจากตัวกลางในวิถีเทอร์พีน (Terpene Pathway) เชื่อว่าสารประกอบ Geosmin สร้างขึ้นจากสารประกอบฟานิซิล-ไพโรฟอสเฟต (Farnesyl-Pyrophosphate) เมื่อสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเจริญเพิ่มจำนวนบริเวณพื้น ผิวน้ำ และรอบข้างของบ่อเลี้ยงจะรวมตัวกันอย่างหนาแน่น (Dense Aggregations) ทำให้การส่องผ่านของแสงแดดลงสู่น้ำลดลง มีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของพืชน้ำชนิดอื่นๆ ที่ผลิตออกซิเจนในน้ำ ทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำลดลง จึงส่งผลต่อปัญหาการเกิดกลิ่นโคลนในน้ำและสัตว์น้ำ (วรพงษ์, 2545)



ภาพที่ 3 วิถีการสังเคราะห์สารให้กลิ่นโคลนจีออสมินและเอ็มไอบี

ที่มา: Johnsen and Dionigi (1994)

วรพงษ์ (2545) รายงานว่า ปลานิลที่ใช้ระบบการเลี้ยงแบบผสมผสานแล้วมีกลิ่นโคลนเกิดขึ้น สามารถลดกลิ่นโคลนที่เกิดขึ้นโดยการพักปลาไว้ในบ่อซีเมนต์ แล้วให้น้ำไหลผ่านในอัตรา 20 ลิตร/นาที ที่อุณหภูมิ 24.5±2°C เพราะปกติแล้ว สารให้กลิ่นโคลนสามารถล้างออกได้โดยการพักไว้ในน้ำสะอาดที่ปราศจากสารให้กลิ่นโคลน หรือสิ่งมีชีวิตที่สร้างสารดังกล่าว ที่อุณหภูมิมากกว่า 20°C ปลาเรนโบว์เทราท์จากทะเลสาบในประเทศแคนาดา เมื่อนำมาพักในถังทดลองที่มีระบบน้ำหมุนเวียนที่ระยะเวลาแตกต่างกัน พบว่า ปริมาณของสาร Geosmin ลดลงเมื่อระยะเวลาการพักนานขึ้น โดยลดลงจาก 1.1 เป็น 0.3 ไมโครกรัม/เนื้อปลา 100 กรัม ภายในระยะเวลา 14 วัน สำหรับการ

ประเมินผลทางด้านประสาทสัมผัส พบว่า เนื้อปลามีกลิ่นโคลนจางๆ หรือไม่สามารถรับรู้กลิ่นได้หลังจากพักปลาในน้ำสะอาดเป็นระยะเวลา 5 วัน

ไบโอฟลอค

ระบบไบโอฟลอค (Bioflocs Technology) หลักการของวิธีนี้คือ การกระตุ้นให้แบคทีเรียกลุ่มเฮทเทอโรโทรฟิคเจริญเติบโตขึ้นในน้ำภายในบ่อเลี้ยง แบคทีเรียเหล่านี้มีประสิทธิภาพดีมากในการเปลี่ยนแอมโมเนียไปเป็นไนเตรท แต่จะต้องมีปัจจัยสำคัญ 3 ประการคือ 1) ปริมาณออกซิเจนที่มีน้ำต้องมีค่ามากกว่า 4 มิลลิกรัมต่อลิตร ตลอดเวลา 2) สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ในน้ำมากกว่า 10:4 น้ำเสียที่ได้จากการเลี้ยงสัตว์น้ำส่วนมากมีอัตราส่วน 3-5:1 ดังนั้นต้องเติมแหล่งคาร์บอนลงไปเพิ่ม เช่น แป้ง กากน้ำตาล แอลกอฮอล์ เป็นต้น และ 3) กระแสน้ำต้องมีอัตราการไหลวนที่มากพอมิให้ฟลอคจมตัวลง มิฉะนั้นจะทับถมกันขาดออกซิเจนตายได้

ในปัจจุบันประเทศไทยประสบปัญหาขาดแคลนน้ำในบางฤดูกาล ส่งผลให้เกษตรกรไม่สามารถเปลี่ยนถ่ายน้ำในระบบการเลี้ยงได้ และคาดว่าในอนาคตปัญหาเรื่องการขาดแคลนน้ำจะสูงขึ้น ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการนำเทคโนโลยีไบโอฟลอค (Biofloc Technology) มาใช้ในระบบการเลี้ยงปลานิล เนื่องจากไบโอฟลอคสามารถลดปริมาณแอมโมเนียที่เป็นพิษได้ (Burford et al., 2004; Direkbusarakom, 2015) โดยจุลินทรีย์ในกลุ่มของ Heterotrophic Bacteria ซึ่งต้องการออกซิเจนในการสลายพลังงาน สามารถใช้คาร์บอนและไนโตรเจนเป็นแหล่งอาหาร การใช้เทคโนโลยี ไบโอฟลอคจะต้องควบคุมอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio) ให้มีความเหมาะสม โดยการนำเทคโนโลยี ไบโอฟลอคมาใช้ในระบบการเลี้ยงปลานิลนั้นจะช่วยลดการเปลี่ยนถ่ายน้ำ (Bureau of Agricultural Economics Research, 2012)

ฟลอค คือกลุ่มของแบคทีเรียที่เจริญเกาะกันเป็นก้อน แบคทีเรียกลุ่มนี้เป็นแบคทีเรียเซลเดี่ยว แต่ผนังเซลด้านหนึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารเหนียวเกาะติด คล้ายกับลักษณะไข่ติดในปลาดุกหรือสวาย เมื่อผนังเซลด้านนี้ไปสัมผัสกับอะไรก็ตามจะเกาะติดทันที เมื่อไปเจอกับอนุภาคเศษอาหาร หรือเซลแบคทีเรียจะเกาะติดเป็นก้อนที่เราเรียกว่า ฟลอค (Floc) หรือไบโอฟิล์ม (Biofilm) ขนาดเล็กใหญ่ขึ้นกับประสิทธิภาพการหมุนเวียนของน้ำ ถ้าแบคทีเรียได้รับออกซิเจนและอาหารเพียงพอ ฟลอคจะเกาะชั้นหนาขึ้น แต่ถ้าปริมาณออกซิเจนซึมเข้าไปไม่ถึง แบคทีเรียด้านในจะตายและลอกออกมาสู่ชั้นน้ำหมุนเวียนไปมา เทคนิคนี้ไม่ใช่เทคโนโลยีใหม่แต่เป็นเทคนิคที่ใช้มากในการบำบัดน้ำเสียจากชุมชนในบ่อที่เราเรียกว่า แอคติเวทเตทสลัดจ์ (Activated Sludge) ตัวสลัดจ์คือฟลอค ส่งผลให้สัตว์น้ำมีออกซิเจนเพียงพอต่อการเจริญเติบโต แข็งแรง ไม่เครียด แต่ข้อเสีย ค่าใช้จ่ายของพลังงานที่ไปหมุนระบบการให้อากาศ และต้องระวังการขาดออกซิเจน การเปลี่ยนแปลงของพีเอช และปริมาณธาตุ

อาหารต้องเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย อัตราการเกิดและอัตราการตายของแบคทีเรียต้องใกล้เคียงกัน จึงจะทำให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง แบคทีเรียที่เป็นไบโอฟลอค จัดอยู่ในกลุ่มแบคทีเรียที่เจริญเติบโตได้ไว มีประสิทธิภาพในการใช้แอมโมเนียได้สูงกว่าแบคทีเรียกลุ่มไนตริฟิเคชันถึง 10 เท่า นอกจากนี้ไบโอฟลอคจัดเป็นแหล่งอาหารธรรมชาติสำรองให้แก่สัตว์น้ำ จากการศึกษาของ (Avnimelech et al., 1994) พบว่าปลานิลที่เลี้ยงแบบหนาแน่นในระบบไบโอฟลอค สามารถดึงโปรตีนไปใช้ได้ดีกว่าถึง 2 เท่าตัวเมื่อเปรียบเทียบกับปลาที่เลี้ยงในระบบหนาแน่นปกติ หรือการทดลองศึกษาในกุ้งทะเลของ (Hari et al., 2006) พบว่าการเลี้ยงกุ้งด้วยระบบไบโอฟลอค จะลดปริมาณไนโตรเจนที่สะสมในบ่อ แอมโมเนียรวม (TAN) และไนไตรท์ในน้ำ ส่งผลให้พิษของสารประกอบเหล่านี้ลดลง นอกจากนี้ยังลดปริมาณโปรตีนในอาหารลงเนื่องจากกุ้งได้รับจากฟลอค

สารประกอบไนโตรเจนในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

ของเสียที่เกิดขึ้นในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ แบบหนาแน่น ได้มาจากแหล่งหลัก 4 แหล่งคือ 1) ของเสียที่สัตว์น้ำขับถ่าย 2) อาหารที่สัตว์น้ำไม่ได้กิน 3) อาหารที่สัตว์น้ำกินเข้าไปแต่ย่อยไม่ได้ (Read and Fernandes, 2003) และ 4) ซากของสิ่งมีชีวิตที่ตาย เช่น แพลงค์ตอน สัตว์น้ำ เป็นต้น อาจจะกล่าวได้ว่าอาหารที่ใช้เลี้ยงสัตว์น้ำเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อปริมาณของเสียในบ่อ จากการศึกษาของ พุทธ (ม.ป.ป.) พบว่า อาหารที่ให้กุ้งเป็นแหล่งของไนโตรเจนที่เข้าสู่บ่อเลี้ยงกุ้ง มีปริมาณสูงถึง 97 เปอร์เซ็นต์ ของเสียที่มาจากอาหารสัตว์น้ำพบได้หลายรูปแบบ คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส คาร์บอน และอื่นๆ ส่งผลให้วัตถุดิบที่ใช้ผลิตอาหารสัตว์น้ำต้องเป็นวัสดุที่สัตว์น้ำสามารถย่อยได้ง่าย มีกลิ่นดึงดูด อาหารสำเร็จรูปที่จำหน่ายในท้องตลาดมีโปรตีนค่อนข้างสูง 25-35% ถ้าเหลือตกค้างอยู่ในน้ำเยอะย่อมเป็นแหล่งกำเนิดของของเสียประเภทสารประกอบไนโตรเจน เช่น แอมโมเนียซึ่งที่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำ และแย่งใช้ออกซิเจนจากสัตว์น้ำโดยปกติในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำแบบหนาแน่นที่เป็นระบบเปิด ถึงแม้ว่าจะมีการจัดการที่ดีอย่างไรก็ตามยังคงพบการสะสมของแอมโมเนียเพิ่มขึ้น ตามระยะเวลาเลี้ยง ส่งผลให้แอมโมเนียและสารประกอบไนโตรเจนเป็นค่าคุณภาพน้ำที่ผู้เลี้ยงสัตว์น้ำให้ความสนใจมาก เท่ากับปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen) และมีผลต่อความสำเร็จของการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ผู้เลี้ยงต้องมีการจัดการคุณภาพน้ำ (ไนโตรเจน) ที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ผลผลิตสัตว์น้ำที่มีคุณภาพและต้นทุนการจัดการที่ไม่สูงมากเกินไป

สารประกอบไนโตรเจนที่พบในบ่อเลี้ยงเพาะสัตว์น้ำจะพบอยู่ในรูปแอมโมเนีย (Ammonia, NH_3) แอมโมเนียมอิออน (Ammonium Ion, NH_4^+) ไนไตรท์ (nitrite, NO_2^-) ไนเตรท (Nitrate, NO_3^-) และก๊าซไนโตรเจน (Nitrogen gas, N_2) เมื่อเราวิเคราะห์ค่าคุณภาพน้ำแอมโมเนียหมายถึง วัดแอมโมเนียที่อยู่ในรูปของค่าแอมโมเนียรวม (Total Ammonia Nitrogen, TAN) หมายถึงการวัดค่าแอมโมเนียในน้ำทั้ง 2 รูปแบบคือ แอมโมเนีย (Ammonia, NH_3) และแอมโมเนียม อิออน

(Ammonium Ion, NH_4^+) สัตว์น้ำจะขับถ่ายของเสียออกมาในรูปของยูรีน (Urine/Uric Acid) เมื่อลงสู่แหล่งน้ำยูรีนจะแตกตัวให้แอมโมเนีย 2 โมเลกุล ส่วนอาหารสำเร็จรูปที่มีโปรตีนสูงที่สัตว์น้ำไม่ได้กินหรือกินเข้าไปแต่ย่อยไม่ได้ เมื่อแตกตัวในน้ำจะเพิ่มปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำ และแบคทีเรียที่มีในน้ำจะย่อยโปรตีนภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน โปรตีนที่ถูกย่อยจะเปลี่ยนไปเป็นเป็นกรดอะมิโนและแอมโมเนีย ดังนั้นถ้าจัดการเรื่องอาหารไม่ดี ย่อมส่งผลให้แบคทีเรียแย่งปริมาณออกซิเจนจากสัตว์น้ำก่อให้เกิดการขาดออกซิเจนได้ เกิดการสะสมของแอมโมเนียที่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำ และสิ้นเปลืองต้นทุนค่าอาหารซึ่งเป็นต้นทุนหลักของการเลี้ยงสัตว์น้ำ (30-50%) (สุภาวดี, 2549)

แอมโมเนียที่พบในน้ำทั้งสองรูปแบบมีพิษต่อสัตว์น้ำ คือ รูปแอมโมเนีย (Ammonia, NH_3) และแอมโมเนียมอิออน (Ammonium Ion, NH_4^+) แต่แอมโมเนียในรูปที่ไม่มีอิออน (Ammonia, NH_3) เป็นรูปที่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำมากกว่า เนื่องจากมีขนาดเล็ก สามารถเข้าสู่เซลร่างกายสัตว์ได้ดี และนอกจากนี้ยังเป็นพวกโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว ส่งผลให้สามารถละลายได้ดีในไขมัน (Körner et al., 2001; สุภาวดี, 2549) แอมโมเนียที่พบในน้ำสามารถเปลี่ยนรูปไปมาได้ตามค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำ (pH) ถ้าน้ำมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างสูง แอมโมเนียในน้ำส่วนใหญ่จะเปลี่ยนอยู่ในรูปแอมโมเนียที่ไม่มีอิออน (NH_3) ซึ่งเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ แต่เมื่อค่าความเป็นด่างในน้ำลดลง แอมโมเนียในน้ำจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปแอมโมเนียมอิออน (NH_4^+) ซึ่งเป็นพิษน้อยกว่านอกจากนี้ยังมีค่าคุณภาพน้ำอื่นๆที่ส่งผล ต่อความเป็นพิษของแอมโมเนีย คือ อุณหภูมิและปริมาณออกซิเจนที่มีในน้ำ ปริมาณแอมโมเนียรวมในน้ำที่ส่งผลกระทบต่อสัตว์น้ำ คือ 1.5 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ถ้าวัดในรูปแอมโมเนีย (NH_3) ระดับที่ปลอดภัยต่อสัตว์น้ำคือ 0.025 มิลลิกรัมต่อลิตร (Chen et al., 2006; Neori et al., 2004) แต่อย่างไรก็ตาม ระดับความเป็นพิษของแอมโมเนียต่อสัตว์น้ำแต่ละชนิดจะขึ้นอยู่กับค่าคุณภาพน้ำที่กล่าวมายังขึ้นอยู่กับ ชนิดขนาดสัตว์น้ำ ปริมาณโลหะหนักและไนเตรท (Colt, 2006; Crab et al., 2007) การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบไนโตรเจนที่พบในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเกิดได้ 3 กระบวนการ คือ

1) แอมโมนิฟิเคชั่น (Ammonification) เป็นกระบวนการที่เกิดในสภาวะที่มีออกซิเจน แบคทีเรียที่มีในน้ำจะย่อยสลายอาหารที่มีในน้ำให้ได้พลังงาน ในการเจริญเติบโต โดยการย่อยโปรตีนที่มีในอาหาร แบคทีเรียจะปล่อยจะแอมโมเนียออกมา ผลคือมีการสะสมของแอมโมเนีย ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลง แอมโมเนียเป็นพิษกับสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ยกเว้น แพลงก์ตอนพืช และ แบคทีเรียที่ใช้แอมโมเนียเป็นอาหาร

2) กระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification) เกิดในสภาวะที่มีออกซิเจน แบคทีเรียสกุล *Nitrosomonas* จะออกซิไดซ์แอมโมเนียที่ในน้ำและปล่อยไนไตรท์ออกมา และแบคทีเรียสกุล *Nitrobactor* จะย่อยไนไตรท์ที่ในน้ำ และปล่อยไนเตรทออกมา กระบวนการนี้ทำให้ปริมาณ

แอมโมเนียลดลง แต่มีการใช้ออกซิเจน ส่งผลให้ออกซิเจนในน้ำมีปริมาณลดลง เช่นกัน และได้ไนเตรทเป็นผลผลิต (By Product)

3) กระบวนการดิไนตริฟิเคชัน (Denitrification) เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำแบบหนาแน่นจะพบที่พื้นก้นบ่อ หรือเลนก้นบ่อระยะ 0-5 เซนติเมตรแรกที่มีการสะสมของตะกอนอาหาร ขี้ปลา และ สารอินทรีย์ต่างๆ ส่งผลให้ชั้นดินบริเวณนี้แบคทีเรียใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายจนหมดแล้ว ก่อให้เกิดสภาวะการขาดออกซิเจน จุลินทรีย์สกุล *Pseudomonas* ที่จะเจริญได้ดีจะเปลี่ยนไนเตรท (NO_3^-) ไปเป็นไนไตรท์ (NO_2^-) และเปลี่ยนไนไตรท์ไปเป็นไนโตรปรัสซายด์ (N_2O_2) และไนโตรเจนแก๊ส (N_2) ตามลำดับ (สุภาวดี, 2549) แอมโมเนียที่มีไม่ได้ถูกนำไปใช้ ส่งผลให้เกิดการสะสมของแอมโมเนียในน้ำ

ประโยชน์จากการใช้ไบโอฟลอค (Biofloc) กับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (อนุสรา, 2552) กล่าวว่า

1. ต่อตัวสัตว์น้ำ: เนื่องจาก Biofloc เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่นำมาใช้เพื่อบำบัดน้ำให้มีคุณภาพที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ดังนั้นสัตว์น้ำย่อมมีการเจริญเติบโตที่ดีขึ้น เนื่องจากสัตว์น้ำสามารถกินไบโอฟลอคเป็นอาหารได้อีกทางหนึ่งด้วย

2. ความถี่ในการเปลี่ยนถ่ายน้ำ: หากมีการนำ Biofloc มาใช้กับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจุลินทรีย์ก็จะเป็นตัวที่คอยควบคุมคุณภาพน้ำภายในบ่อโดยอัตโนมัติ เพราะช่วยในเรื่องของการบำบัดไนโตรเจน ฉะนั้นจึงไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนถ่ายน้ำบ่อยๆ ทำให้ประหยัดการใช้น้ำในการเพาะเลี้ยง

3. ผลผลิตที่ได้: เมื่อกลไกการบำบัดน้ำเสียภายในบ่อเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ อัตราการตายของสัตว์น้ำย่อมต่ำ ส่งผลให้ผลผลิตที่ได้มีความคุ้มค่ากับการลงทุน

4. ค่าใช้จ่าย: ไบโอฟลอคเป็นกลไกการรักษาสมดุลภายในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติจึงสามารถช่วยลดต้นทุนแก่ผู้ประกอบการในแง่ของการซื้อพวกจุลินทรีย์ผงมาใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ อีกทั้งการที่ไม่ต้องเปลี่ยนถ่ายน้ำบ่อยๆ ยังเป็นการช่วยลดค่าพลังงานจากการสูบน้ำออกจากบ่อได้อีกทางหนึ่งด้วย และที่สำคัญผลพลอยได้อีกอย่างหนึ่ง ถือได้ว่าช่วยลดค่าใช้จ่ายในเรื่องของอาหารสัตว์น้ำเป็นอย่างดี

ข้อเสียจากการใช้ไบโอฟลอค (Biofloc) กับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

มักจะพบว่าจะมีความขุ่นมากกว่าปกติ ซึ่งอาจจะส่งผลต่อสัตว์น้ำในระยะยาวได้การแก้ไขก็คือ ให้มีการสูบตะกอนที่ก้นบ่อทิ้งสัปดาห์ละครั้งหรือบ่อยกว่านั้นก็จะเป็นผลดีต่อสัตว์น้ำในระยะยาว

การสร้างตะกอนไบโอฟลอค (บุญเสริม วิทยชำนาญกุล, 2556) กล่าวว่า

ตะกอนไบโอฟลอค (Biofloc) คือ ตะกอนแขวนลอยในน้ำที่ประกอบด้วยแบคทีเรียจำนวนมากจับกลุ่มก้อน อาจมีแพลงค์ตอนพืชและแพลงค์ตอนสัตว์บางชนิดแฝงอยู่ด้วย แบคทีเรียเหล่านี้มีทั้งที่เป็นแบคทีเรียที่ต้องใช้ O_2 สำหรับการหายใจ (Aerobic Bacteria) เพื่อนำไปสร้างพลังงาน และแบคทีเรีย ที่ใช้การหมัก (Fermentation) เพื่อให้เกิดพลังงาน และไม่จำเป็นต้องใช้ออกซิเจน (Anaerobic bacteria)

แบคทีเรียอีกประเภทหนึ่งไม่สามารถกินสารอาหารได้ แต่ต้องดูดซึมเอาสารที่เป็นโมเลกุลขนาดเล็กที่เรียกว่า สารอนินทรีย์ (Inorganic Materials) เข้าไปในเซลล์และย่อยสลายเอาธาตุ C และธาตุ N ไปสร้างเป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น โปรตีน หรือ คาร์โบไฮเดรต แบคทีเรียเหล่านี้ เรียกว่า Autotrophic Bacteria และเป็นแบคทีเรียที่ต้องการ O_2 คือเป็น Aerobic Bacteria เท่านั้น

แบคทีเรียที่สามารถนำเอา NH_3 และ NO_2^- ซึ่งเป็นสารพิษของสัตว์น้ำ ไปใช้ประโยชน์ได้นี้เป็นแบคทีเรีย เรียกว่า Nitrifying Bacteria แบคทีเรียประเภทนี้แบ่งออกได้เป็นสองกลุ่มใหญ่ๆ คือ กลุ่มที่เปลี่ยน NH_3 ให้เป็น NO_2^- เรียกว่า *Nitrosomonas* Bacteria และอีกกลุ่มหนึ่งเป็นแบคทีเรียที่เปลี่ยน NO_2^- ให้เป็น NH_3 ซึ่งไม่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำเรียกว่า *Nitrosobacter* Bacteria

สรุปแล้วตะกอนชีวภาพจึงประกอบด้วย Heterotrophic Bacteria (ที่ย่อยสลายสารอินทรีย์และ ย่อยให้เป็นสารอนินทรีย์ซึ่งรวมทั้ง NH_3 ด้วย) และ Autotrophic Bacteria (ที่ย่อยสลาย NH_3 และ NO_2^- ให้ เป็น NO_3^-) ดังนั้นตะกอนชีวภาพจึงเป็นสิ่งที่กำจัดของเสียให้น้อยลง

ตะกอนไบโอฟลอคเหล่านี้มีทั้งกลุ่มแบคทีเรีย และมีโปรตีนและสารอาหารอื่นๆ ที่มีประโยชน์ต่อสัตว์น้ำโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในสัตว์น้ำวัยอ่อน ดังนั้นสัตว์น้ำกุ้งหรือปลาที่มีขนาดเล็กจึงสามารถกินตะกอนเหล่านี้เข้าไปเป็นอาหารได้

ตะกอนไบโอฟลอคสามารถบำบัดน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงปลาได้ ทำให้อัตราการเปลี่ยนถ่ายน้ำก็จะน้อยลง (อันเนื่องมาจากระดับของ NH_3 และ NO_2^- มากจนเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ) หากทำให้เกิดสมดุลของการเกิดของเสียที่เป็นสาร Nitrogen (Nitrogen Waste) และการย่อยสลายเป็นไปอย่างสม่ำเสมอก็จะไม่มีการเพิ่มของเสียเหล่านี้เลย อาจจะไม่ต้องเปลี่ยนถ่ายน้ำเลยตลอดการเพาะเลี้ยง เช่น ตลอดระยะเวลา 4-5 เดือน ของการเพาะเลี้ยง เรียกวิธีนี้ว่า Zero-water Exchange System หรือระบบการเลี้ยงที่ไม่มีการถ่ายน้ำเลย หรือ Minimum-water Exchange System หรือระบบการเลี้ยงที่มีการถ่ายน้ำน้อยที่สุด

เฮเทอโรโทรฟิกแบคทีเรีย (Heterotrophic bacteria)

เฮเทอโรโทรฟิกแบคทีเรีย (Heterotrophic Bacteria หรือ Heterotroph) เป็นแบคทีเรียที่ไม่ สามารถสร้างอาหารเองได้ โดยได้แหล่งคาร์บอนมาจากสารอินทรีย์ และเป็นแบคทีเรียสังเคราะห์แสง (Photosynthetic bacteria; PSB) พบกระจายทั่วไปในธรรมชาติตามแหล่งน้ำจืด น้ำเค็ม ทะเลสาบน้ำเค็ม น้ำทะเลสาบที่มีความเป็นด่าง น้ำที่มีความเป็นกรด น้ำพุร้อน น้ำทะเลบริเวณขั้วโลกเหนือ นอกจากนี้ยังพบตามแหล่งน้ำเสีย บ่อบำบัดน้ำเสีย บทบาทของแบคทีเรียสังเคราะห์แสงมีความสำคัญในกระบวนการนำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไปใช้ (CO_2 - Assimilation) และการตรึงไนไตรเจน (Nitrogen Fixation) นอกจากนี้ยังมีบทบาทสำคัญในห่วงโซ่อาหารซึ่งสัตว์ขนาดเล็กปลากุ้ง หอย และปู สามารถนำแบคทีเรียสังเคราะห์แสงมาใช้เป็นอาหารได้ นอกจากนี้ในน้ำเสียจากบ้านเรือนและน้ำเสียจากการทำปศุสัตว์สามารถบำบัดด้วยแบคทีเรียสังเคราะห์แสงได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Kobayashi and Kobayashi, 1995)

ทฤษฎี C:N ratio

การควบคุมการสะสมอนินทรีย์ไนโตรเจนในบ่อจะขึ้นอยู่กับ การเผาผลาญคาร์บอนและการตรึงไนโตรเจนจากกระบวนการทำงานของจุลินทรีย์ ซึ่งแบคทีเรียและจุลินทรีย์อื่นๆ ที่ใช้คาร์โบไฮเดรต น้ำตาล แป้ง และเซลลูโลสเป็นอาหารเพื่อสร้างพลังงานและเจริญเติบโต (Avnimelech, 1999; Crab et al., 2009) ดังสมการที่ 1

$$\text{Organic C} \longleftarrow CO_2 + \text{Energy} + \text{C Assimilates in Microbial Cells} \qquad (1)$$

ร้อยละของคาร์บอนในสารอินทรีย์ที่ถูกใช้ในการสร้างเซลล์จุลินทรีย์ หรือเรียกว่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนจุลินทรีย์ (Microbial Convertion Efficiency: E) มีค่าอยู่ในช่วง ร้อยละ 40-60 ไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบหลักในการสร้างเซลล์ใหม่ ดังนั้นจุลินทรีย์จึงต้องการใช้คาร์โบไฮเดรต (หรืออาหารอื่นๆ ที่มีไนโตรเจนต่ำ) มาใช้ในการตรึง Inorganic Nitrogen การเติมแหล่งคาร์โบไฮเดรตเป็นวิธีที่มีศักยภาพในการลดความเข้มข้นของ Inorganic Nitrogen ในระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอย่างหนาแน่น

ปริมาณของคาร์โบไฮเดรตที่จำเป็นต้องเพิ่ม (ΔCH) ในการลดแอมโมเนียสามารถประเมินได้ตามสมการ 2 โดยความหมายของค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนจุลินทรีย์ (E) เราสามารถประเมินปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่จำเป็นต้องเติม (ΔCH)

$\Delta C_{mic} = \Delta CH \times \%C \times E$ ______________________________ (2)

เมื่อกำหนดให้ ΔC_{mic} คือปริมาณของคาร์บอนที่ถูกจุลินทรีย์นำไปใช้ และ %C เป็นปริมาณคาร์บอนที่เติมเข้าไปของ (ประมาณ 50% ในอาหารทั่วไป) ปริมาณไนโตรเจนที่จำเป็นสำหรับการผลิตเซลล์ใหม่ (ΔN) ขึ้นอยู่กับอัตราส่วน C/N ในมวลชีวภาพของจุลินทรีย์ ซึ่งต้องใช้ 4 หน่วย

$\Delta N = \Delta C_{mic}/[C/N]_{mic} = \Delta CH \times \%C \times E/[C/N]_{mic}$ ______________________________ (3)

และใช้ค่าประมาณของ %C, E และ [C/N] เป็น 0.5, 0.4 และ 4 ตามลำดับ (ตามสมการ 4) จากสมการที่ 4 จะได้ว่า ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ต้องเติม (ΔCH) เพื่อลดแอมโมเนีย ไนโตรเจน โดยความเข้มข้น 1 ppm N (1 g N/m^3) คือ 20 ppm N หรือ 20 g/m^3

$\Delta CH = \Delta N/(0.5 \times 0.4/4) = \Delta N/0.05$ ______________________________ (4)

อีกวิธีหนึ่ง คือ การเติมคาร์โบไฮเดรตในปริมาณที่คำนวณเข้ากับอาหารป้องกันการเพิ่มขึ้นของ TAN ที่ขับออกมาจากปลา หรือกุ้ง พบว่าปลาหรือกุ้งในบ่อจะใช้ไนโตรเจนในอาหารเพียงประมาณ 25% ส่วนที่เหลือจะถูกขับออกเป็น NH_3 หรือ Organic N ในอุจจาระหรืออาหารที่เหลืออาจจะคิดเป็นปริมาณแอมโมเนียมในน้ำ (ΔNH_4) โดยตรงจากการขับถ่าย หรือโดยอ้อมจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ไนโตรเจนของจุลินทรีย์ มีประมาณ 50% ของไนโตรเจนที่มีอยู่ในอาหาร

$\Delta NH_4 = \text{Feed} \times \%\text{ N in Feed} \times \%NH_4 \text{ Excretion}$ ______________________________ (5)

การเปลี่ยนถ่ายน้ำบางส่วน หรือการกำจัดตะกอนสามารถลดปริมาณ NH_4 ได้บางส่วนแอมโมเนียในลักษณะที่ (แต่สำหรับกรณีที่ไม่เปลี่ยนน้ำในบ่อ) แอมโมเนียมทั้งหมดยังคงอยู่ในบ่อ นอกจากนี้ปริมาณของคาร์โบไฮเดรตที่จำเป็นต้องเติมเพื่อให้เกิดการใช้แอมโมเนียมในการสร้างเซลล์จุลินทรีย์ สามารถคำนวณตามสมการที่ 6 และ 7

$\Delta CH = \text{Feed} \times \%\text{ N in Feed} \times \%\text{ }NH_4 \text{ Excretion}/0.05$ ______________________________ (6)

หากสมมติว่าอาหารเม็ดโปรตีน 30% มีไนโตรเจน 4.65% และ 50% ของไนโตรเจนถูกขับถ่ายออกมา (% N Excretion)

$\triangle$CH = Feed × 0.0465 x0.5/0.05=0.465 x Feed ________________________(7)

จากสมการที่ 7 อาหารที่มีโปรตีน 30% ควรมีการเติมคาร์โบไฮเดรตที่ไม่มีโปรตีนเลย ปริมาณ 46.5% ของอาหารสามารถคำนวณเปอร์เซ็นต์โปรตีนที่ถูกต้องได้ดังนี้ Corrected Protein Percentage = 30%/1.465 =20.48% และอัตราส่วน Original C/N = 500/46.5 = 10.75 ในอาหารที่มีโปรตีน 30% จะยกขึ้นไป 15.75

การคำนวณ C/N อย่างคร่าวๆ ของอาหารที่แตกต่างกัน

1. ปริมาณคาร์บอนในอาหารใกล้เคียง 50% ของน้ำหนักอาหารทั้งหมด (เนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้ผสมอาหารทั้งหมดจะมีคาร์บอนโดยประมาณ 50%)
2. ปริมาณโปรตีนหาได้จากเปอร์เซ็นต์โปรตีน องค์ประกอบอาหารที่มีโปรตีนและปริมาณไนโตรเจนหาได้จาก โปรตีน x 0.155 (โปรตีนประกอบด้วยไนโตรเจนโดยเฉลี่ย 15.5%)
3. C/N ได้จากการหาร C จาก (1) ด้วย N จาก (2)

ลักษณะของไบโอฟลอค

การศึกษาสมบัติทางกายภาพพบว่าไบโอฟลอค มีขนาดประมาณ 0.1-2.0 mm มีลักษณะค่อนข้างเปิดและมีที่ว่างภายในถึงประมาณ 65-70% โดยปริมาตรไบโอฟลอคประกอบด้วย Cyanobacteria โปรโตซัว และของแข็งอนินทรีย์โดยที่สิ่งเหล่านี้จะยึดเกาะกันอย่างหลวมๆ โดยใช้สารจากเซลล์แบคทีเรียที่ปล่อยออกมาเรียกว่า Extracellular Polymer (EPS) ซึ่งมีส่วนประกอบหลักเป็นพอลิแซ็กคาไรด์รูปร่างที่ค่อนข้างเปิดของไบโอฟลอคยังมีส่วนช่วยให้กระบวนการไนตริฟิเคชั่นเกิดขึ้นได้ พร้อมกับการย่อยสลายสารอินทรีย์ผ่านแบคทีเรียกลุ่มเฮทเทโรโทรฟิกอย่างไรก็ตามบทบาทของกระบวนการไนตริฟิเคชั่นในการบำบัดแอมโมเนีย คาดว่าจะมีไม่มากนักเนื่องจากในระบบเทคโนโลยีไบโอฟลอคจะมีการเติมสารประกอบอินทรีย์ในปริมาณมากซึ่งทำ ให้แบคทีเรียกลุ่มไนตริฟายอิงไม่สามารถแข่งขันกับแบคทีเรียกลุ่มเฮทเทโรโทรฟิกในการรับออกซิเจนได้ (กษิดิศ, 2551)

การควบคุมการเกิดไบโอฟลอค

กษิดิศ (2551) กล่าวว่า น้ำในบ่อเลี้ยงของระบบเทคโนโลยีไบโอฟลอคมักจะมีความขุ่นมากกว่าปกติซึ่งอาจมีผลกระทบต่อสัตว์น้ำที่ทำการเพาะเลี้ยงได้ในระยะยาว วิธีการแก้ไขทำได้โดยสูบตะกอนที่ก้นบ่อออกทิ้งสัปดาห์ละครั้งหรือบ่อยกว่านั้นหากมีปริมาณของเสียมาก (เช่น ในกรณีการเลี้ยงปลานิล) แนวทางนี้ได้มีการใช้งานจริงแล้วในระหว่างการทดลองเลี้ยงกุ้งด้วยระบบเทคโนโลยีไบโอฟลอคในฟาร์มที่ประเทศ Belize

กล่าวว่าตะกอนแขวนลอยที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำสามารถช่วยควบคุมความเข้มข้นของแอมโมเนียและไนไตรท์ให้ต่ำกว่า 1.0 มก.ไนโตรเจน/ลิตร ได้เมื่อระดับความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยอยู่ในช่วงระหว่าง 200 ถึง 800 มก.ของแข็งแขวนลอย/ลิตร โดยมีอัตราการบำบัดแอมโมเนียอยู่ในช่วง 0.007 ถึง 0.023 มก.ไนโตรเจน/มก.ของแข็งแขวนลอย/วัน อย่างไรก็ดีปัจจัยอื่นๆ เช่นสุขภาพของสัตว์น้ำ หรือความสามารถในการคงปริมาณออกซิเจนในถังเลี้ยงก็เป็นข้อกำหนดสำคัญในการกำหนดช่วงปริมาณตะกอนในถังเลี้ยงให้เหมาะสม

Azim and Little (2008) กล่าวว่าแนะนำให้คงปริมาณตะกอนแขวนลอยในระบบไบโอฟลอคได้ไม่เกิน 500 มก.ของแข็งแขวนลอย/ลิตร เนื่องจากปริมาณตะกอนที่มากเกินไปจะอุดตันเหงือกของสัตว์น้ำทำให้ความสามารถในการแลกเปลี่ยนออกซิเจนลดลง

การควบคุมค่า C:N ratio

การเกิดตะกอนฟลอคต้องการการเติมก๊าซออกซิเจนให้มาก สัดส่วนระหว่างคาร์บอนกับไนโตรเจน C:N ratio เท่ากับ 1-20:1 กล่าวคือ หากน้ำในบ่อมีไนโตรเจนเท่ากับ 1 คาร์บอนต้องอยู่ในช่วง 1-20 จึงจะทำ ให้จุลินทรีย์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับแหล่งที่มาของคาร์บอน คือสารที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบได้แก่ แป้ง (Starch) น้ำตาล (Sugar) เซลลูโลส (Cellulose) และพวกกากใย (Fiber) ส่วนแหล่งที่มาของไนโตรเจนคือสารที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบได้แก่ กรดอะมิโน (Amino acid) โปรตีน (Protein) ภายในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำต้องมีการหมุนเวียนของน้ำภายในบ่อเป็นอย่างดี ยิ่งกว่านั้นจะต้องทำการเติมก๊าซออกซิเจนให้มากปัจจัยที่กล่าวมาข้างต้นนี้ถือเป็นปัจจัยที่ช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตของแบคทีเรียกลุ่มเฮทเทโรโทรฟิกให้มีปริมาณเพียงพอภายในบ่อเลี้ยงนั่นเอง และรวมกลุ่มกันกลายเป็นกลุ่มไบโอฟลอค (กษิดิศ, 2551)

สุทธิพงศ์ (2556) กล่าวว่า การทดลองเลี้ยงกุ้งขาวและปลานิลแบบผสมผสานด้วยเทคโนโลยีไบโอฟลอคในระบบน้ำหมุนเวียนแบบปิด การเติมแหล่งคาร์บอนไม่มีผลต่ออัตราการตายของกุ้งแต่มีผลดีต่อการเจริญเติบโตของกุ้ง และปลานิลสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ 16:1 (C:N ratio ที่ 16:1) มีความเหมาะสมต่อคุณภาพน้ำเพื่อการเลี้ยงสัตว์น้ำด้วยระบบเทคโนโลยีไบโอฟลอคที่สุด และส่งผลใหอัตราการรอดตายการเจริญเติบโตและผลผลิตรวมของปลาและกุ้งดีที่สุด

บุญเสริม (2556) กล่าวว่า ในการทำบ่อเพาะเลี้ยงเป็นแบบตะกอนชีวภาพนั้น จำเป็นต้องใช้สารประเภทคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ลงไปในบ่อเพื่อให้ได้อัตราของธาตุ C:N ในระดับที่เหมาะสมคือเท่ากับหรือมากกว่า 12:1

Emerenciano และคณะ (2013) กล่าวว่า แหล่งคาร์บอนที่ใช้ในระบบไบโอฟลอคมักจะผลิตได้มาจากการกระทำของมนุษย์ หรืออุตสาหกรรมอาหารสัตว์ในพื้นที่พิเศษที่มีอยู่ แหล่งที่มาของคาร์โบไฮเดรตราคาถูก เช่น กากน้ำตาล กลีเซอรอล และโรงงานอาหาร การเจริญเติบโตแบคทีเรียในไบโอฟลอคจะต้องรักษาค่า C:N ในระดับ15-20:1 ร่วมกับการควบคุมคุณภาพน้ำให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำ

Hargreaves (2013) กล่าวว่า ในระบบเทคโนโลยีไบโอฟลอคเป็นปัจจัยสำคัญที่ควบคุมความเข้มข้น C:N ที่ค่อนข้างต่ำ 9-10:1 ไม่สามารถความควบคุมค่าของแอมโมเนียในน้ำให้ลดลงได้ แต่ปัจจัยการผลิตที่ C:N 12-15:1 เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย Heterotrophic สามารถเติมได้โดยการเพิ่มวัสดุเสริมด้วยกากน้ำตาล

คุณค่าทางโภชนาการของไบโอฟลอค

ในมุมมองทางโภชนาการ องค์ประกอบของกลุ่มแบคทีเรียชีวภาพมีความสำคัญสูงสุด ในการผลิตผลิตภัณฑ์สุขภาพที่มีคุณภาพสูง ส่วนใหญ่เกษตรกรใช้อาหารปลาที่สมบูรณ์ ประกอบไปด้วยโปรตีน (18-50%) ไขมัน (10-25%), คาร์โบไฮเดรต (15-20%) เถ้า (8.5%) ฟอสฟอรัส (1.5%), น้ำ (10%) และปริมาณของวิตามินและแร่ธาตุที่เหมาะสม องค์ประกอบของกลุ่มแบคทีเรียที่ผลิตจึงควรนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่มีโปรตีนสูง กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (PUFA) และไขมันเป็นตัวแปรสำคัญเกี่ยวกับกลุ่มแบคทีเรียที่เป็นอาหารเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (Ogello et al., 2014)

ระบบเทคโนโลยีไบโอฟลอคมีการทดลองใช้งานในต่างประเทศ โดยมีการศึกษาในประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่า การเลี้ยงปลานิลด้วยระบบเทคโนโลยีไบโอฟลอค ทำให้สามารถเปลี่ยนอาหารจากชนิดที่มีโปรตีน 30% มาเป็น 20% ซึ่งลดค่าใช้จ่ายในส่วนค่าอาหารได้ถึง 0.2 เหรียญสหรัฐ หรือประมาณ 7–8 บาทต่อกิโลกรัมของปลานิล (กษิดิศ, 2551)

ระบบเทคโนโลยีไบโอฟลอคมีโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และกรดไขมันที่เพียงพอต่อความต้องการของปลา และช่วยป้องกันการติดเชื้อจากโรคปลา และอัตราการเติบโตของปลานิลจะมีมากถึง 0.3 กรัม/วัน นอกจากนี้พบว่า การกินอาหารสำเร็จรูปลดลงอย่างมีนัยสำคัญถึง 20% ส่งผลให้ลดต้นทุนการผลิตด้านอาหารปลาคิดเป็น 50% จากค่าใช้จ่ายในการผลิตปลาทั้งหมด (Ogello et al., 2014)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อานุภาพ (2556) ทำการศึกษาแหล่งคาร์บอนที่เหมาะสมในการผลิตไบโอฟลอคในบ่อเลี้ยงปลานิล (*Oreochromis niloticus*, L.) และปลาดุกบิ๊กอุย (*Clarias gariepinus* x *Clarias macrocephalus*) จากการทดลองครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อค้นหาแหล่งคาร์บอนที่เหมาะสมเพื่อนำไปเสริมกับกากน้ำตาลที่ประกอบด้วย รำละเอียด ขนมปังป่น และ ข้าวโพดป่น และ เปรียบเทียบแหล่งคาร์บอนเสริมที่เหมาะสมในการสร้างไบโอฟลอค วางแผนการทดลองแบบ CRD โดยปล่อยปลานิลที่ความหนาแน่น 30 ตัวต่อตารางเมตร และทำการเลี้ยง 6 เดือน ส่วนปลาดุกบิ๊กอุยปล่อยที่ความหนาแน่น 50 ตัวต่อตารางเมตร และทำการเลี้ยง 4 เดือน วิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้โปรแกรม SPSS for window ผลการศึกษาพบว่า การเติมแหล่งคาร์บอนเสริมกับกากน้ำตาลทั้ง รำละเอียด ขนมปังป่น และ ข้าวโพดป่น ไม่มีผลต่ออัตราการรอด การเจริญเติบโต อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน อัตราการแลกเนื้อ และ อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของปลานิลและปลาดุกบิ๊กอุย แต่จะมีผลต่อตะกอนแขวนลอยรวม (TSS) หรือไบโอฟลอคของบ่อปลาดุกบิ๊กอุยมากกว่าบ่อเลี้ยงปลานิล ดังนั้นแม้จะเพิ่มแหล่งคาร์บอนอื่นๆ นอกจากกากน้ำตาลไม่มีผลให้การเจริญเติบโตของปลานิลและปลาดุกบิ๊กอุยแตกต่างกัน

จริยาวดี ชนัดดา (2557) ทำการศึกษาการสะสมของปริมาณสาร Geosmin และ MIB ในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vannamei*) แบบพัฒนา การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแพลงก์ตอน คุณภาพน้ำ และกลิ่นไม่พึงประสงค์ ในบ่อดินที่เลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมด้วยน้ำความเค็มต่ำ (10-15 psu) และความเค็มปกติ (25-30 psu) ในปี พ.ศ. 2557 บ่อดินมีขนาด 3 ไร่ (0.48 เฮกแตร์) ความลึกน้ำ 1.5 เมตร ปล่อยกุ้งขาวแวนนาไมลงเลี้ยงที่ความหนาแน่น 100,000 ตัวต่อไร่ (62 ตัวต่อตารางเมตร) เก็บตัวอย่างแพลงก์ตอนและคุณภาพน้ำที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตร จากผิวหน้าน้ำ และที่ระดับความลึก 20 เซนติเมตร จากพื้นท้องน้ำ ตัวอย่างดินตะกอนเก็บที่ระดับความลึก 5 เซนติเมตร จากผิวหน้าดินเพื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์รวม ปริมาณไนโตรเจนรวม และ ปริมาณฟอสฟอรัสรวม ค่าจีออสมินและเอ็มไอบี วิเคราะห์หลังจากปล่อยกุ้งขาวแวนนาไมลงเลี้ยงได้ 30 วัน ผลการศึกษา พบว่า ในพื้นที่ที่เลี้ยงด้วยน้ำความเค็มต่ำ พบ *Oscillatoria* เป็นแพลงก์ตอนพืชกลุ่มเด่น ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของแพลงก์ตอนมีค่าอยู่ระหว่าง 29,730±7,661 ถึง 23,127±6,213 unit cell/L ในพื้นที่ที่เลี้ยงด้วยน้ำความเค็มปกติ พบ *Nitzschia* เป็นแพลงก์ตอนพืชกลุ่มเด่น ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของแพลงก์ตอนมีค่าอยู่ระหว่าง 32,288±3,650 ถึง 35,379±4,697 unit cell/L ระดับของ geosmin and MIB ในน้ำมีค่าระหว่าง 0.73±0.91 ถึง 3.66±0.88 ug/l และ 0.14±0.01 to 1.20±0.87 ระดับของ geosmin และMIB ในดินมีค่าระหว่าง 1.63±1.42 ถึง 5.57±4.26 ug kg^{-1} และ 0.23±0.16 ถึง 0.89±0.59 ug kg^{-1} ระดับของ geosmin and MIB ในกล้ามเนื้อกุ้งขาวแวนนาไมมีค่าระหว่าง 0.82±0.84 ถึง 1.85±0.50 ug kg^{-1}

และ 0.09±0.07 ถึง 0.52±0.53 ug kg^{-1} นอกจากนี้ปริมาณ Geosmin และ MIB มีความสัมพันธ์กับปริมาณแพลงก์ตอนและคุณภาพน้ำ ได้แก่ ปริมาณไนเตรท

อุดมลักษณ์ และคณะ (2561) ได้ศึกษาผลการเพาะเลี้ยงปลานิลแดงวัยอ่อนในระบบไบโอฟลอคในการศึกษาได้ทำการประเมินอัตราการรอด การเจริญเติบโต และการจัดการคุณภาพน้ำในปลานิลแดงวัยอ่อน (*Oreochromis niloticus-mossambicus*) ซึ่งในการทดลองใช้ลูกปลานิลแดงน้ำหนักเฉลี่ย 4.86±0.01 กรัม ทดลองในตู้ปลา ปริมาตรน้ำ 50 ลิตร อัตราการปล่อย 10 ตัว/ตู้ แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ชุดๆ ละ 3 ซ้ำได้แก่ ชุดที่ 1 คือชุดควบคุม โดยเลี้ยงในระบบปกติที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ ชุดที่ 2 คือชุดที่เลี้ยงโดยระบบไบโอฟลอคจากน้ำเขียวจากฟาร์มปลาดุก และชุดที่ 3 คือชุดที่เลี้ยงโดยระบบไบโอฟลอคจากน้ำประปา ทำการให้อาหารที่มีเปอร์เซ็นต์โปรตีนประมาณ 35-40% อัตราการให้ 10% ต่อน้ำหนักตัว ทำการเลี้ยงเป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์ เติมกากน้ำตาล (แหล่งคาร์บอน) ในชุดไบโอฟลอคปรับสัดส่วน C:N≥15 ตรวจสอบคุณภาพน้ำ ได้แก่ pH, DO, NH_3-N และ NO_2^--N เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าคุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ระบบไบโอฟลอคสามารถควบคุมปริมาณแพลงก์ตอนพืช (คลอโรฟิลล์ เอ) ไม่ให้สูงเกินไป รวมทั้งปลาที่เลี้ยงด้วยระบบไบโอฟลอคมีอัตราการรอดสูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) ปลานิลแดงที่เลี้ยงโดยไบโอฟลอคด้วยน้ำจากฟาร์มปลาดุกมีน้ำหนักเฉลี่ย ค่าน้ำหนักที่เพิ่มต่อวัน (ADG) และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (SGR) สูงที่สุด คือ 54.80±0.19 กรัม, 10.25±0.02 กรัม/วัน และ 2.15±0.01% ต่อวัน ตามลำดับ (P<0.05) ในขณะที่อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) มีค่าต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) เนื้อปลาที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอคมีปริมาณโปรตีนมากกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05)

สุทธิพงศ์ และคณะ (2556) ได้ศึกษาผลของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในการเลี้ยงกุ้งขาวร่วมกับปลานิลด้วยเทคโนโลยีไบโอฟลอค ในการทดลองเลี้ยงกุ้งขาวและปลานิลแบบผสมผสานด้วยเทคโนโลยีไบโอฟลอคในระบบน้ำหมุนเวียนแบบปิด ชุดการทดลองที่ 1 (ชุดควบคุม) ไม่มีการเติมแหล่งอินทรีย์คาร์บอน ชุดการทดลองที่ 2 และ 3 เติมแหล่งอินทรีย์คาร์บอนที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio) 16:1 และ 20:1 ตามลำดับ ให้อาหารเฉพาะกุ้งขาวด้วยอาหารสำเร็จรูป เป็นเวลา 100 วัน พบว่า อัตราการเจริญเติบโต และผลผลิตรวม ของกุ้งขาว และปลานิล ในชุดการทดลองที่มีการเติมแหล่งอินทรีย์คาร์บอนสูงกว่าชุดควบคุม (P<0.05) ส่วนอัตราการรอดตาย ไม่แตกต่างกัน ชุดการทดลองที่เติมแหล่งอินทรีย์คาร์บอน (ชุดการทดลองที่ 2 และ 3) มีปริมาณแอมโมเนีย (TAN) ตะกอนแขวนลอยทั้งหมด (TSS) และอินทรีย์สารแขวนลอย (POM) เพิ่มขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ส่วนปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (DO) ไนไตรท์ (NO_2^-) ฟอสเฟต (SRP) และคลอโรฟิลล์ เอ ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) จากผลการทดลองครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ 16:1 เหมาะสมต่อการเลี้ยงกุ้งขาวร่วมกับปลานิลด้วยเทคโนโลยีไบโอฟลอค

Nootong และคณะ (2011) ได้ทำการศึกษาการให้อาหารปลานิลและแป้งมันสำปะหลังทุกวันที่อัตราส่วน C:N ที่ 16:1 ทำการศึกษาประสิทธิภาพของการดูดซึมและการไนตริฟิเคชั่นในบ่อเพาะเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค ความเข้มข้นของไนโตรเจนอนินทรีย์ในบ่อเพาะเลี้ยงปลานิลที่มีการให้อาหารและแป้งมันสำปะหลัง การดูดซึมเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการควบคุความเข้มข้นของไนโตรเจนอนินทรีย์ก่อนที่จะเกิดไนตริฟิเคชันที่สมบูรณ์ โดยมีการเพิ่มของสารแขวนลอยจาก 52 เป็น 1,180 มก. SS/L อัตราการสะสมของแอมโมเนียไนโตรเจน (TAN) และไนไตรต์รวมมีค่าต่ำกว่าชุดควบคุม การควบคุมความเข้มข้นของไนโตรเจนอนินทรีย์ (เช่น TAN และ NO2-N<1.0 mg N/L) มีการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันอย่างสมบูรณ์หลังจากประมาณ 6–7 สัปดาห์โดยไม่คำนึงถึงการเติมแป้ง ผลจากความสมดุลของมวลไนโตรเจนชี้ให้เห็นว่ากระบวนการไนตริฟิเคชั่นและการดูดซึมในระดับที่น้อยกว่ามีหน้าที่ควบคุมไนโตรเจนอนินทรีย์ในบ่อเพาะเลี้ยงปลานิล

Avnimelech (1999) กล่าวว่า การควบคุมไนโตรเจนอนินทรีย์โดยการจัดการกับอัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจน เป็นวิธีการควบคุมที่มีศักยภาพสำหรับระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ แนวทางนี้ดูเหมือนจะใช้ได้จริงและราคาไม่แพง หมายถึง การลดการสะสมของไนโตรเจนอนินทรีย์ในบ่อ การควบคุมไนโตรเจนเกิดขึ้นโดยการให้อาหารด้วยคาร์โบไฮเดรตและผ่านการดูดซึมไนโตรเจนจากน้ำในภายหลังโดยการสังเคราะห์โปรตีนของจุลินทรีย์ ความสัมพันธ์ระหว่างการเติมคาร์โบไฮเดรต การลดลงของแอมโมเนียม และ การผลิตโปรตีนของจุลินทรีย์ ขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงของจุลินทรีย์ อัตราส่วน C:N ในชีวมวลของจุลินทรีย์และปริมาณคาร์บอน พบว่าการเติมสารตั้งต้นคาร์บอเนตเพื่อลดอนินทรีย์ไนโตรเจนในถังทดลองกุ้งและในบ่อเลี้ยงปลานิลเชิงพาณิชย์ พบบ่อเลี้ยงปลานิบที่ได้รับโปรตีนจากจุลินทรีย์ที่ผลิตได้ ดังนั้นจึงมีการเปลี่ยนโปรตีนจากอาหารสัตว์ส่วนหนึ่งและลดต้นทุนการให้อาหาร การเพิ่มคาร์โบไฮเดรตหรือการลดปริมาณโปรตีนในอาหารที่เทียบเท่ากัน สามารถคำนวณและปรับให้เหมาะสมในเชิงปริมาณ

Zaki และคณะ (2020) ได้ศึกษาผลกระทบของความหนาแน่นในระบบการเพาะเลี้ยงและแหล่งที่มาของคาร์บอนในอาหาร ต่อการเจริญเติบโตสถานะออกซิเดชั่นและความเครียดของปลานิล (*Oreochromis niloticus*) ที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอค มีระดับความหนาแน่น 3 ระดับ คือ ปล่อยปลา 20, 40 และ 60 (50.47 ± 0.05 กรัม) ตัว/ลบ.ม. และเลี้ยงด้วยอาหารพาณิชย์โดยไม่มีการเติมแหล่งคาร์บอนหรือปลายข้าว และข้าวโพดป่นในบ่อไบโอฟลอค ส่วนคุณภาพน้ำ คือ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (BOD) แอมโมเนียรวม (TAN) และ ค่าไนไตรต์ -ไนโตรเจน (NO_2) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) เมื่อความหนาแน่นเพิ่มขึ้น (ปลา 60 ตัว ต่อ ลบ.ม.) ในขณะที่ออกซิเจนละลายน้ำลดลง ปริมาณไบโอฟลอคและจำนวนแบคทีเรียลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ในความหนาแน่นที่ปล่อยปลา 20 ตัว/ลบ.ม. และค่าสูงสุดอยู่ที่ปล่อยปลา 40 ตัว/ลบ.ม. การเจริญเติบโตและการใช้อาหารที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ บ่อที่เลี้ยงปลาความหนาแน่น 40 ตัว/ลบ.ม.

ปริมาณไขมันลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (*P*<0.05) ในความหนาแน่นปลา 60 ตัว/ลบ.ม. จำนวนเม็ดเลือดแดง ค่าฮีโมโกลบิน และฮีมาโตคริตลดลงในปลาที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่นสูงในขณะที่อะลานีนทรานซามิเนส (ALT) และแอสพาเทตทรานซามิเนส (AST) เพิ่มขึ้นในปลาที่เลี้ยงในความหนาแน่นต่ำ กลูโคส คอร์ติซอล คาตาเลส และซูเปอร์ออกไซด์ดิสมูเทสเพิ่มขึ้นในปลาที่ความหนาแน่น 20 ตัว/ลบ.ม. และให้อาหารพาณิชย์ ดังนั้นการใช้ปลายข้าวสำหรับปลาที่เลี้ยงความหนาแน่นที่ 40 ตัว/ลบ.ม. ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตและสุขภาพของปลานิลที่เลี้ยงใระบบไบโอฟลอค

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

วัสดุอุปกรณ์

อุปกรณ์การเพาะเลี้ยงปลานิล

1. บ่อพลาสติกขนาด 2 ตัน
2. อุปกรณ์ให้อากาศ
3. เครื่องให้อากาศ
4. กระชอนตักปลา

อุปกรณ์วิเคราะห์จีออสมินและเอ็มไอบี

1. เครื่อง Gas Chromatography–mass Spectrometry (GC-MS)
2. ขวดไวอัล ขนาด 20 มิลลิลิตร
3. โซเดียมคลอไรด์
4. น้ำกลั่นบริสุทธิ์
5. Magnetic bar
6. ฝาอะลูมิเนียม
7. จุกยางทนความร้อนสูง
8. เครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า
9. Hot plate
10. บีกเกอร์
11. Solid Phase Micro Extraction, SPME

อุปกรณ์วิเคราะห์หาลักษณะคุณสมบัติของน้ำบางประการ

1. เครื่องวัดน้ำ
2. เครื่องวัดค่าดูดกลืนแสง (Spectrophotometer) รุ่น SPECTRO SC และ Cuvette
3. Imhoft Cone
4. ตู้อบความร้อน ยี่ห้อ WTB binder รุ่น 15115300002020
5. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ METTLER TOLEDO รุ่น ME204
6. Hot plate ยี่ห้อ VELP SCINTIFICA
7. ชุดอุปกรณ์เครื่องแก้วพื้นฐานในห้องทดลอง

สารเคมี

สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์หาลักษณะสมบัติของน้ำ

1. ฟีนอล
2. ไฮดราซีนซัลเฟต
3. Ammonia Molybdate Solution
4. Stannous Chloride Solution
5. Sulfuric Acid (H_2SO_4)
6. Ammonium Persulfate ($(NH_4)_2S_2O_8$)
7. NaOH
8. Acetone 90%
9. Magnesium Carbonate Solution
10. Phenolphthalein Indicator
11. Oxidizing Solution
12. Rochelle Salt Solution (Sodium Potassium Tartrate Tetrahydrate : $KNaC_4H_4O_6.4H_2O$)
13. Phenate Solution
14. Coupling Reagent
15. Copper Sulfate

MAEJO UNIVERSITY

วิธีการดำเนินการ

การทดลองที่ 1 ศึกษาการเลี้ยงปลานิลในบ่อลอยของฟาร์มเกษตรกร อ.สันป่าตอง

การศึกษาดำเนินการในฟาร์ม 1 ณ บ้านแม่กุ้งหลวง ต.ทุ่งต้อม อ.สันป่าตอง จ.เชียงใหม่, ฟาร์ม 2 ณ บ้านห้วยส้ม ต.สันกลาง อ.สันป่าตอง จ.เชียงใหม่ และตรวจสอบค่าต่างๆ ดังนี้

การตรวจวัดคุณภาพน้ำ ตามวิธีการของ ISO 10260 (1992) ในบ่อเลี้ยงปลานิลระบบไบโอฟลอค ของฟาร์มเกษตรกร อ.สันป่าตอง จังหวัดเชียงใหม่ 2 ฟาร์ม คือ ฟาร์ม 1 ณ บ้านแม่กุ้งหลวง ต.ทุ่งต้อม อ.สันป่าตอง จ.เชียงใหม่, ฟาร์ม 2 ณ บ้านห้วยส้ม ต.สันกลาง อ.สันป่าตอง จ.เชียงใหม่ ดังภาพที่ 3 และ 4 โดยวัดคุณภาพน้ำทุกๆ เดือน โดยมีการตรวจวัดดังนี้

1. ค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยใช้ pH Meter (Schott-Gerate CG 840)
2. ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ โดยวิธี Azide Modification
3. ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน โดยวิธี Direct Nesslerization
4. ปริมาณไนเตรทไนโตรเจน โดยวิธี Phenoldisulfonic Acide

และมีการตรวจสอบปริมาณฟลอคที่ตกตะกอน โดยวิธี Imhoff Cone (ภาพที่ 5)

ภาพที่ 4 บ่อการทดลองฟาร์ม 1

ภาพที่ 5 บ่อการทดลองฟาร์ม 2

ภาพที่ 6 การวัดปริมาณฟลอคที่ตกตะกอน โดยใช้ Imhoff Cone

การตรวจสอบกลิ่นโคลน

การตรวจสอบปริมาณกลิ่นโคลน: จีออสมิน และ เอ็มไอบี ใช้วิธี Gas Chromatography–mass Spectrometry (GC-MS) ซึ่งดัดแปลงตามวิธีของ Lloyd and Grimm (1999)

1. นำขวดไวอัลที่มีตัวอย่างพร้อมวิเคราะห์ มาเติมโซเดียมคลอไรด์ 1.9 กรัม เติมน้ำตัวอย่าง 10 มิลลิลิตร และใส่ Magnetic Bar
2. จากนั้นปิดฝาด้วยจุกยางทนความร้อนสูง และฝาอะลูมิเนียม

3. นำขวดไวอัลวางบนเครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า และถาดให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 65–70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที
4. แทงเข็มไฟเบอร์ที่ประกอบเข้ากับอุปกรณ์ (Solid-Phase Micro Extraction: SPME) เข้าไปในขวดตัวอย่างทิ้งไว้เป็นเวลา 25 นาที เพื่อให้ไฟเบอร์ทำการจับกับสารประกอบจีออสมินและเอ็มไอบีในตัวอย่าง
5. หลังจากนั้นนำชุดอุปกรณ์ SPME ฉีดเข้ากับเครื่อง GC/MS (Agilent Technologies 6890 N Network GC System) เข้าไปตรงตำแหน่งที่ฉีดสารของเครื่อง
6. ใช้ Splitless Mode ผ่านแคบปิลารีคอลัมน์ (DB-DURABOND) HP–5 (30 m., 0.32 mm. μm. Film Thickness) ใช้แก๊สฮีเลียมเป็นตัวพา ด้วยอัตรา 2.5 มิลลิลิตร/นาที อุณหภูมิของเตาอบ ตั้งโปรแกรมอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที
7. เพิ่มอุณหภูมิเป็น 220 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราเร็ว 15 องศาเซลเซียส/นาที และคงอุณหภูมิไว้ที่ 220 องศาเซลเซียส นาน 8 นาที
8. จดบันทึกผลจากเครื่อง GC/MS นำไปเปรียบเทียบกับสารจีออสมินและเอ็มไอบีมาตรฐาน

การทดลองที่ 2 ศึกษาการเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค ณ คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ทำการทดลองในบ่อพลาสติกจำนวน 6 บ่อ ขนาด 2 ตัน โดยเติมหัวเชื้อไบโอฟลอค (กากน้ำตาล, อาหารเม็ดป่น, รำละเอียด และโดโลไมท์) ก่อนเริ่มทำการทดลอง โดยปล่อยปลานิลจำนวน 60 ตัว น้ำหนักเฉลี่ย 60 กรัมต่อตัว ให้อาหารปลานิลจากไบโอฟลอคร่วมกับอาหารพาณิชย์โปรตีน 25% และ 35% โดยมีการเติมกากน้ำตาลทุกวันๆ ละ 60 มิลิลิตรต่อวัน และเก็บตัวอย่างน้ำมาวิเคราะห์ทุกๆ เดือน (ดังภาพที่ 7)

วางแผนการทดลอง

ทำการทดลองแบบ CRD (Complete Randomized Design) จำนวนชุดการทดลอง 2 ชุดการทดลองๆ ละ 3 ซ้ำ โดยที่มีโปรตีน 25% และ 35% ดังนี้

อาหารโปรตีน 25% บ่อ 1

อาหารโปรตีน 35% บ่อ 2

อาหารโปรตีน 35% บ่อ 3

อาหารโปรตีน 25% บ่อ 4

อาหารโปรตีน 25% บ่อ 5

อาหารโปรตีน 35% บ่อ 6

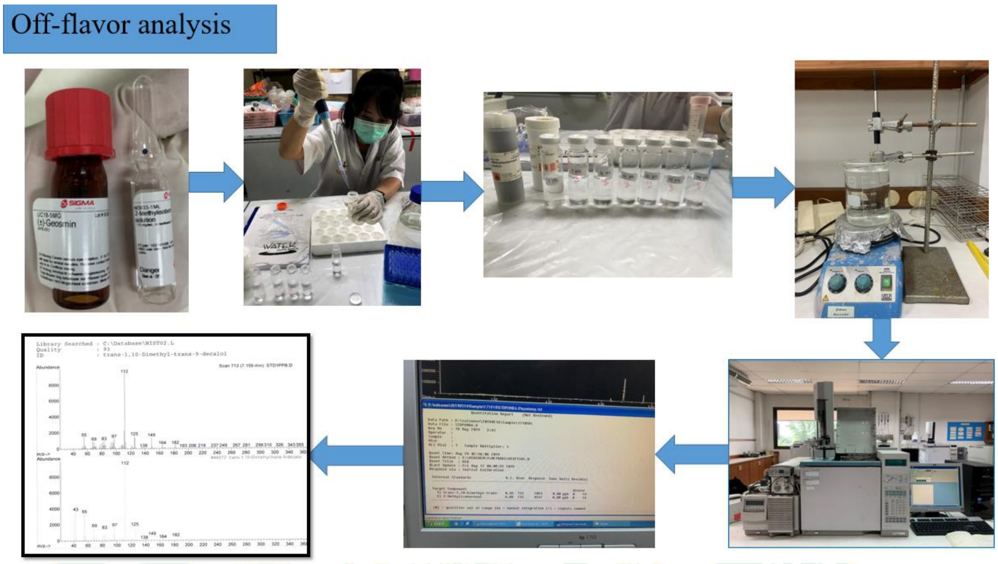
ภาพที่ 7 บ่อการทดลองขนาด 2 ตัน

การตรวจสอบกลิ่นโคลน

การตรวจสอบปริมาณกลิ่นโคลน: จีออสมิน และ เอ็มไอบี ใช้วิธี Gas Chromatography–mass Spectrometry (GC-MS) ซึ่งดัดแปลงตามวิธีของ (Lloyd and Grimm, 1999)

1. นำขวดไวอัลที่มีตัวอย่างพร้อมวิเคราะห์ มาเติมโซเดียมคลอไรด์ 1.9 กรัม เติมน้ำตัวอย่าง 10 มิลลิลิตร และใส่ Magnetic Bar
2. จากนั้นปิดฝาด้วยจุกยางทนความร้อนสูง และฝาอะลูมิเนียม
3. นำขวดไวอัลวางบนเครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า และถาดให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 65–70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที
4. แทงเข็มไฟเบอร์ที่ประกอบเข้ากับอุปกรณ์ (Solid-Phase Micro Extraction: SPME) เข้าไปในขวดตัวอย่างทิ้งไว้เป็นเวลา 25 นาที เพื่อให้ไฟเบอร์ทำการจับกับสารประกอบจีออสมินและเอ็มไอบีในตัวอย่าง
5. หลังจากนั้นนำชุดอุปกรณ์ SPME ฉีดเข้ากับเครื่อง GC/MS (Agilent Technologies 6890 N Network GC System) เข้าไปตรงตำแหน่งที่ฉีดสารของเครื่อง
6. ใช้ Splitless Mode ผ่านแคบปิลารีคอลัมน์ (DB-DURABOND) HP–5 (30 m., 0.32 mm. µm. Film Thickness) ใช้แก๊สฮีเลียมเป็นตัวพา ด้วยอัตรา 2.5 มิลลิลิตร/นาที อุณหภูมิของเตาอบ ตั้งโปรแกรมอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที
7. เพิ่มอุณหภูมิเป็น 220 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราเร็ว 15 องศาเซลเซียส/นาที และคงอุณหภูมิไว้ที่ 220 องศาเซลเซียส นาน 8 นาที

8. จดบันทึกผลจากเครื่อง GC/MS นำไปเปรียบเทียบกับสารจีออสมินและเอ็มไอบีมาตรฐาน (ภาพที่ 8)



ภาพที่ 8 วิธีการตรวจสอบกลิ่นโคลน

การตรวจวัดคุณภาพน้ำ ตามวิธีการของ ISO 10260 (1992) ในบ่อเลี้ยงปลานิลระบบไบโอฟลอค ทุกๆ เดือน โดยมีการตรวจวัดดังนี้

1. ค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยใช้ pH Meter (Schott-Gerate CG 840)
2. ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ โดยวิธี Azide Modification
3. ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน โดยวิธี Direct Nesslerization
4. ปริมาณไนเตรทไนโตรเจน โดยวิธี Phenoldisulfonic Acide

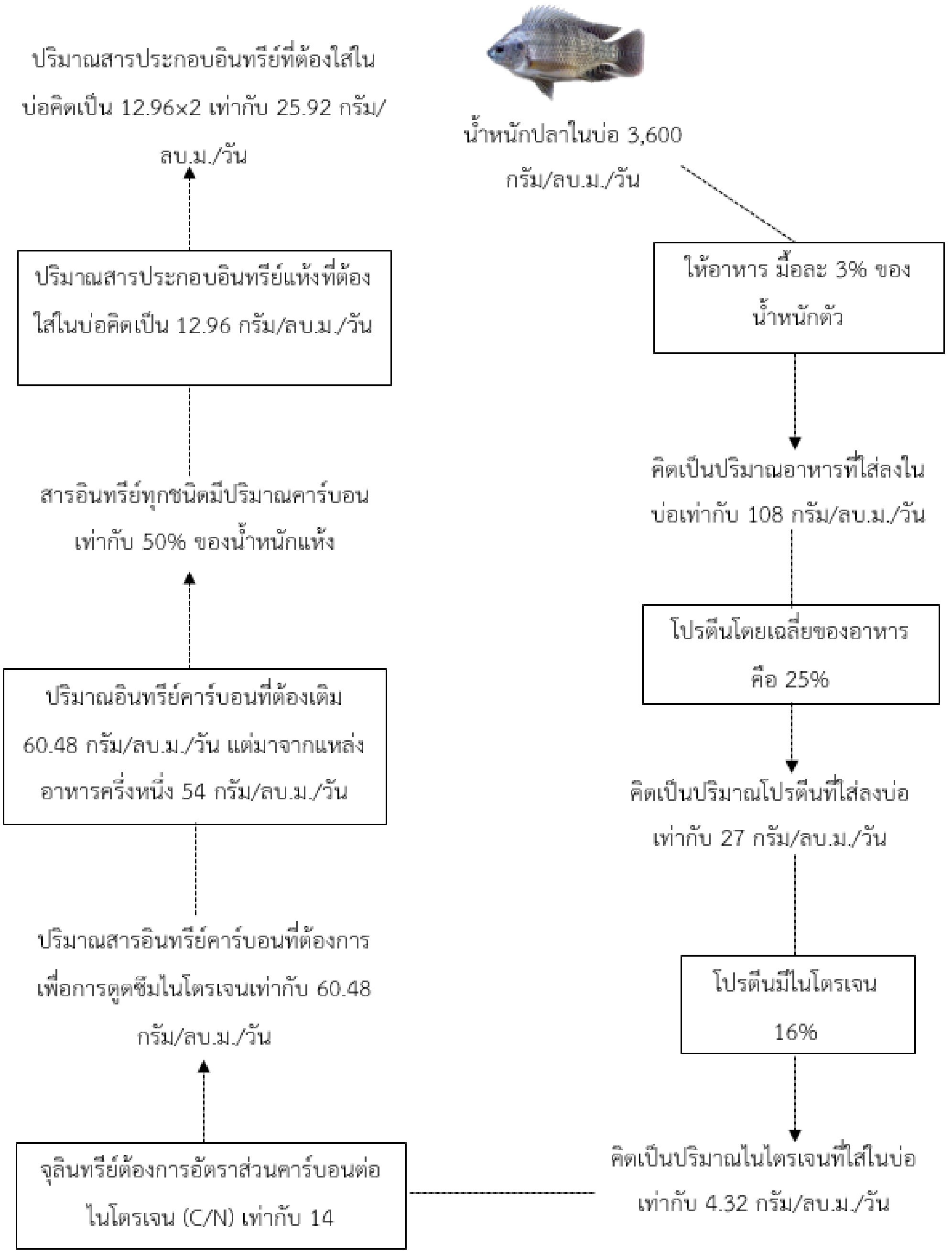
และมีการตรวจสอบปริมาณตะกอนฟลอค โดยวิธี Imhoff Cone (ภาพที่ 10)

ภาพที่ 9 การวัดปริมาณฟลอคที่ตกตะกอน โดยใช้ Imhoff Cone

การคำนวณอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N)

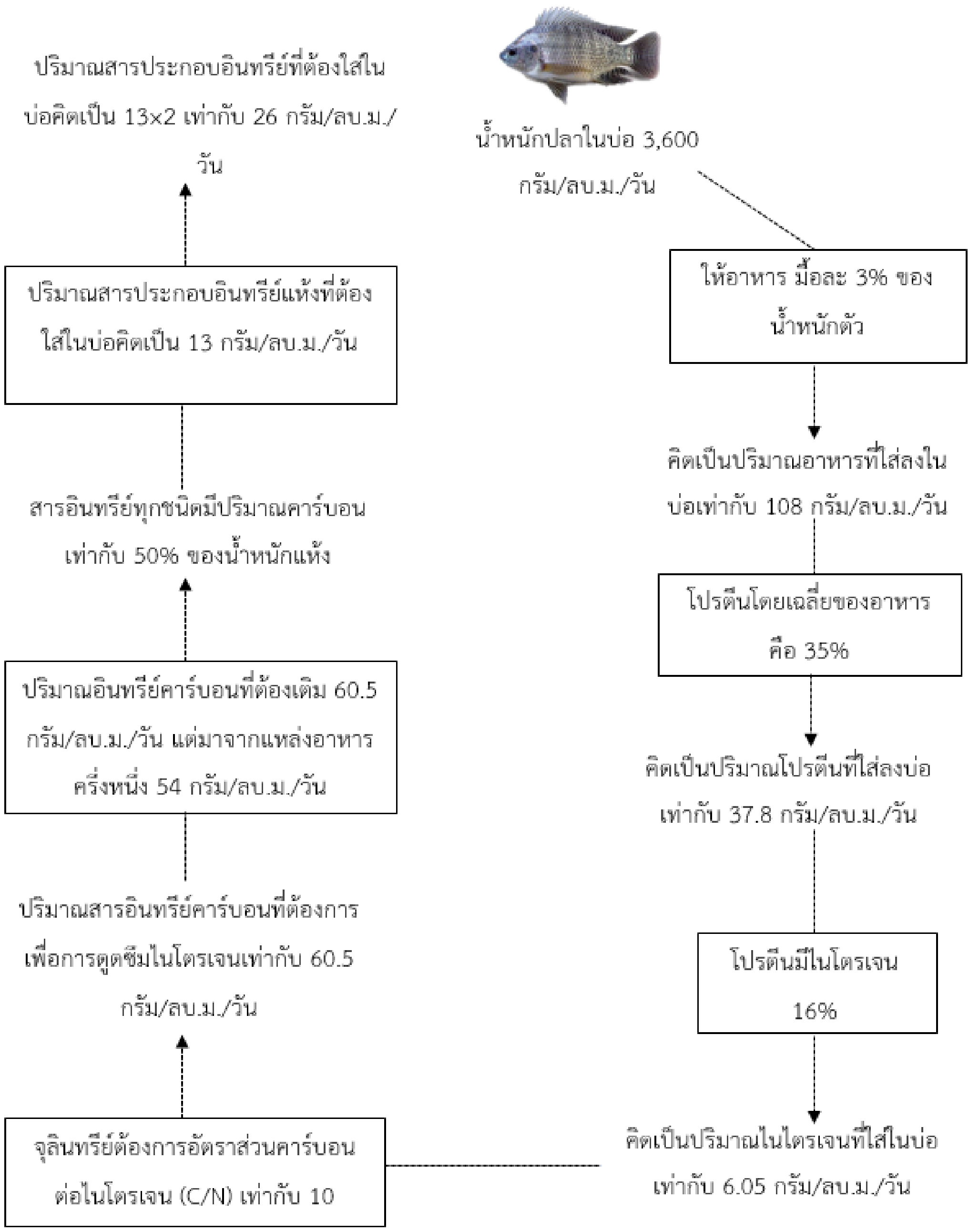
1. ปริมาณคาร์บอนในอาหารใกล้เคียง 50% ของน้ำหนักอาหารทั้งหมด (เนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้ผสมอาหารทั้งหมดจะมีคาร์บอนโดยประมาณ 50%)
2. ปริมาณโปรตีนหาได้จากเปอร์เซ็นต์โปรตีน องค์ประกอบอาหารที่มีโปรตีนและปริมาณไนโตรเจนหาได้จาก โปรตีน x 0.155 (โปรตีนประกอบด้วยไนโตรเจนโดยเฉลี่ย 15.5%)

C/N ได้จากการหาร C จาก (1) ด้วย N จาก (2) ดังภาพที่ 11 และ 12 และตารางที่ 1



ภาพที่ 10 แผนผังการคำนวณปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนที่ไบโอฟลอคต้องการในแต่ละวันเพื่อกำจัดไนโตรเจนที่เกิดขึ้นในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำอย่างหนาแน่น (คาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 14:1)

ที่มา: Avnimelech (1999)



ภาพที่ 11 แผนผังการคำนวณปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนที่ไบโอฟลอคต้องการในแต่ละวันเพื่อกำจัดไนโตรเจนที่เกิดขึ้นในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำอย่างหนาแน่น (คาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 10:1)

ที่มา: Avnimelech (1999)

ตารางที่ 1 สรุปการคำนวณคาร์บอนต่อไนโตรเจน

พารามิเตอร์	C:N 14:1 (โปรตีน 25%)	C:N 10:1 (โปรตีน 35%)
น้ำหนักปลา (กรัม/ลบ.ม./วัน)	3,600	3,600
คาร์บอน (กรัม/ลบ.ม./วัน)	12.96	26
ไนโตรเจน (กรัม/ลบ.ม./วัน)	4.32	6.05

การคำนวณประสิทธิภาพการเจริญเติบโต

1. น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (Weight Gain, WG)

   WG= น้ำหนักเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง – น้ำหนักเฉลี่ยเมื่อเริ่มการทดลอง

2. ความยาวเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น (Length Gain, LG)

   LG = L1 - L2

   เมื่อ L1= ความยาวเฉลี่ยของปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

   L2= ความยาวเฉลี่ยของปลาเมื่อเริ่มการทดลอง

3. อัตราการแลกเนื้อ (Feed Conversion Ratio, FCR)

   $$\text{FCR} = \frac{\text{น้ำหนักอาหารที่ปลากิน}}{\text{น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น}}$$

4. อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (Average Daily Gain, ADG)

   $$\text{ADG} = \frac{\text{น้ำหนักสุดท้าย} - \text{น้ำหนักเริ่มต้น}}{\text{จำนวนวันที่เลี้ยง}}$$

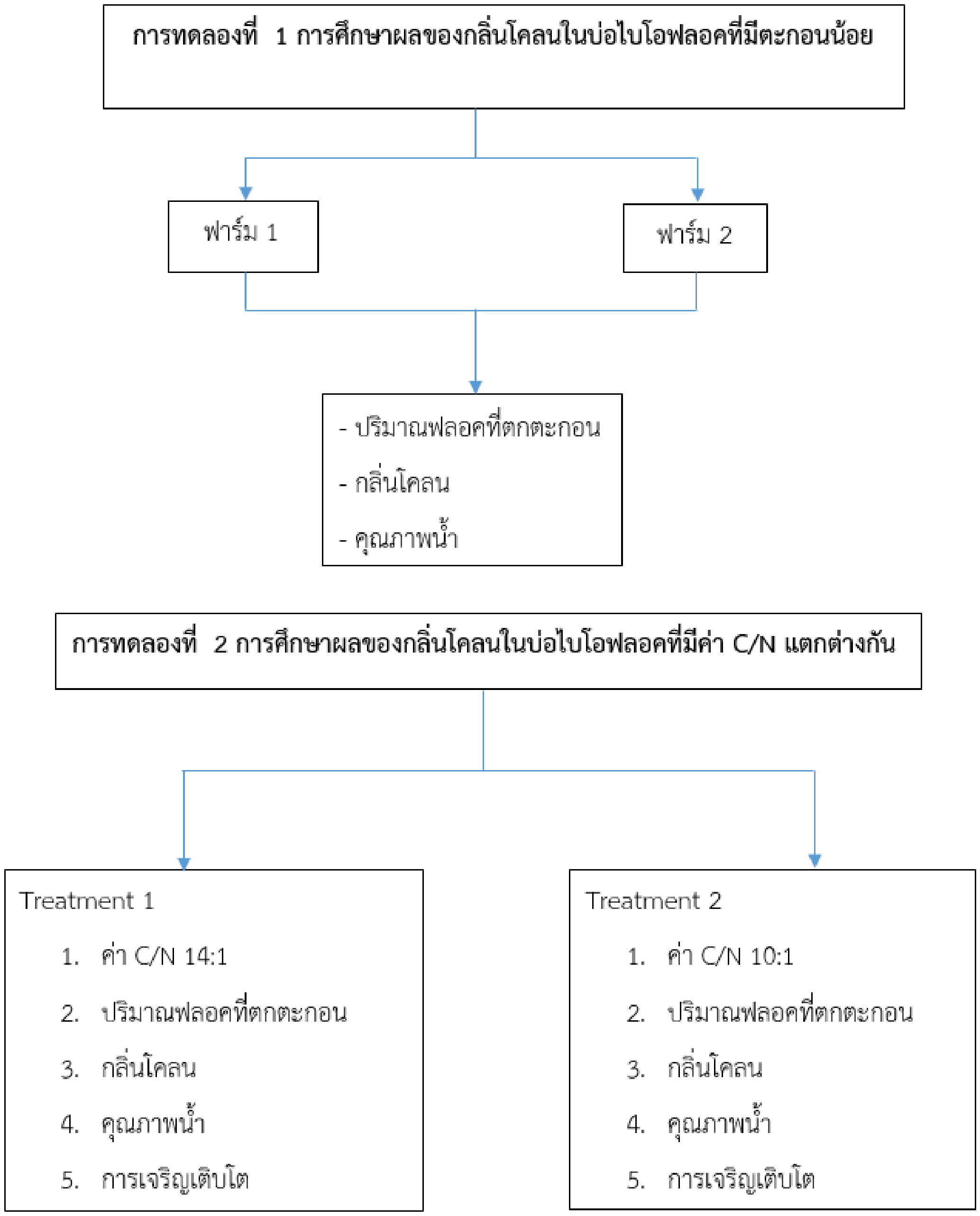
5. อัตราการรอด (Survival rate, %)

   $$\text{อัตรารอด} = \frac{\text{จำนวนปลาที่เหลือ}}{\text{จำนวนปลาทั้งหมด}} \times 100$$

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey’s Multiple Comparison Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยโปรแกรม SPSS รุ่น Ver. 15.0 วิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และความแปรปรวนแบบทางเดียว (One Way Analysis of Variance) ทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey’s Multiple Comparison test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยโปรแกรม SPSS รุ่น Ver. 15

จากการทดลองที่ 1 และ 2 สามารถสรุปวางแผนการดำเนินงานได้ดังภาพที่ 12



ภาพที่ 12 แผนการดำเนินงานของการทดลองที่ 1 และ 2

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

ผลการทดลอง

การทดลองที่ 1 ศึกษาการเลี้ยงปลานิลในบ่อลอยของฟาร์มเกษตรกร อ.สันป่าตอง

1. ฟาร์ม 1 ณ บ้านแม่กุ้งหลวง ต.ทุ่งต้อม อ.สันป่าตอง จ.เชียงใหม่ ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการทดลองเป็นระยะเวลา 90 วัน เก็บตัวอย่างทั้งหมด 36 ครั้ง ทำการวัดค่าปริมาณตะกอนฟลอค ตรวจสอบค่าจีออสมินและเอ็มไอบี และวัดค่าคุณภาพน้ำบางประการ มีผลการทดลองดังนี้

ค่าจีออสมิน (Geosmin)

จากการศึกษาค่าจีออสมินในน้ำ ของบ่อเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค ฟาร์ม 1 ณ บ้านแม่กุ้งหลวง ต.ทุ่งต้อม อ.สันป่าตอง จ.เชียงใหม่ ในระยะเวลา 90 วัน พบว่า ค่าจีออสมินในน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 0.10±0.18 µg/l ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับฟาร์ม 2 (P>0.05) เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน มีค่าเกินมาตรฐาน เท่ากับ 55.55% (ตารางที่ 2)

ค่าเอ็มไอบี (MIB)

จากการศึกษาค่าเอ็มไอบีในน้ำ ของบ่อเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค ฟาร์ม 1 ณ บ้านแม่กุ้งหลวง ต.ทุ่งต้อม อ.สันป่าตอง จ.เชียงใหม่ ในระยะเวลา 90 วัน พบว่า ค่าเอ็มไอบีในน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 0.12±0.21 µg/l ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับฟาร์ม 2 (P>0.05) เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน มีค่าเกินมาตรฐาน เท่ากับ 69.44% (ตารางที่ 2)

ค่าคุณภาพน้ำบางประการ

จากการศึกษาค่าคุณภาพน้ำบางประการของบ่อเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค ฟาร์ม 1 ณ บ้านแม่กุ้งหลวง ต.ทุ่งต้อม อ.สันป่าตอง จ.เชียงใหม่ ในระยะเวลา 90 วัน พบว่า ค่าออกซิเจนละลายในน้ำ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.87±0.79 mg/l ค่าความเป็นกรด-ด่าง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.61±0.16 ค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.04±0.01 mg/l ค่าไนไตรท์-ไนโตรเจน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.50±0.35 mg/l และค่าไนเตรท-ไนโตรเจน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.24±0.20 mg/l (ตารางที่ 3)

ปริมาณฟลอคที่ตกตะกอน (Settled Floc Particles)

จากการศึกษาปริมาณฟลอคที่ตะกอน ของบ่อเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค ฟาร์ม 1 ณ บ้านแม่กุ้งหลวง ต.ทุ่งต้อม อ.สันป่าตอง จ.เชียงใหม่ ในระยะเวลา 90 วัน พบว่า ปริมาณฟลอคที่ตกตะกอน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.58±4.13 ml/l (ตารางที่ 3)

2. ฟาร์ม 2 ณ บ้านห้วยส้ม ต.สันกลาง อ.สันป่าตอง จ.เชียงใหม่ ทำการทดลองเป็นระยะเวลา 90 วัน เก็บตัวอย่างทั้งหมด 36 ครั้ง ทำการวัดค่าปริมาณฟลอคที่ตกตะกอน ตรวจสอบค่าจีออสมิน และเอ็มไอบี และวัดค่าคุณภาพน้ำบางประการ มีผลการทดลองดังนี้

ค่าจีออสมิน (Geosmin)

จากการศึกษาค่าจีออสมินในน้ำ ของบ่อเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค ฟาร์ม 2 ณ บ้านห้วยส้ม ต.สันกลาง อ.สันป่าตอง จ.เชียงใหม่ ในระยะเวลา 90 วัน พบว่า ค่าจีออสมินในน้ำ เฉลี่ยเท่ากับ 0.31±0.11 µg/l ไม่มีค่าความแตกต่างทางสถิติกับฟาร์ม 2 (P>0.05) เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน มีค่าเกินมาตรฐาน เท่ากับ 55.55% (ตารางที่ 2)

ค่าเอ็มไอบี (MIB)

จากการศึกษาค่าเอ็มไอบีในน้ำ ของบ่อเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค ฟาร์ม 2 ณ บ้านห้วยส้ม ต.สันกลาง อ.สันป่าตอง จ.เชียงใหม่ ในระยะเวลา 90 วัน พบว่า ค่าเอ็มไอบีในน้ำ เฉลี่ยเท่ากับ 0.18±0.19 µg/l ไม่มีค่าความแตกต่างทางสถิติกับฟาร์ม 2 (P>0.05) เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน มีค่าเกินมาตรฐาน เท่ากับ 88.88% (ตารางที่ 2)

ค่าคุณภาพน้ำบางประการ

จากการศึกษาค่าคุณภาพน้ำบางประการของบ่อเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค ฟาร์ม 2 ณ บ้านห้วยส้ม ต.สันกลาง อ.สันป่าตอง จ.เชียงใหม่ ในระยะเวลา 90 วัน พบว่า ค่าออกซิเจนละลายในน้ำ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10.02±1.66 mg/l พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่าง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.57±0.29 ค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.05±0.01 mg/l ค่าไนไตรท์-ไนโตรเจน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.68±0.32 mg/l ค่าไนเตรท-ไนโตรเจน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.61±0.41 mg/l (ตารางที่ 4)

ปริมาณฟลอคที่ตกตะกอน

จากการศึกษาปริมาณฟลอคที่ตกตะกอน ของบ่อเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค ฟาร์ม 2 ณ บ้านห้วยส้ม ต.สันกลาง อ.สันป่าตอง จ.เชียงใหม่ ในระยะเวลา 90 วัน พบว่า ปริมาณฟลอคที่ตกตะกอน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.20±0.62 ml/l (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 2 ค่าจีออสมิน ค่าเอ็มไอบี และค่ามาตรฐานของจีออสมิน เอ็มไอบี ของบ่อเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค ฟาร์ม 1 ณ บ้านแม่กุ้งหลวง ต.ทุ่งต้อม อ.สันป่าตอง จ.เชียงใหม่ และฟาร์ม 2 ณ บ้านห้วยส้ม ต.สันกลาง อ.สันป่าตอง จ.เชียงใหม่

Farm	N	Geosmin (µg/l)	MIB (µg/l)	Threshold of geosmin (%)	Threshold of MIB (%)
1	36	0.10±0.18[a]	0.12±0.21[a]	55.55	55.55
2	36	0.31±0.11[a]	0.18±0.19[a]	69.44	88.88

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย ±SD ที่ตามด้วยอักษรภาษาอังกฤษที่เหมือนกันในแต่ละคอลัมน์ แสดงถึงความไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05)

ตารางที่ 3 ค่าคุณภาพน้ำบางประการ ของบ่อเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค ฟาร์ม 1 ณ บ้านแม่กุ้งหลวง ต.ทุ่งต้อม อ.สันป่าตอง จ.เชียงใหม่

Settled floc particles (ml/l)	Ammonia-Nitrogen (mg/l)	Nitrite-Nitrogen (mg/l)	Nitrate-Nitrogen (mg/l)	DO (mg/l)	pH
4.58±4.13	0.04±0.01	0.50±0.35	1.24±0.20	8.87±0.79	8.61±0.16

ตารางที่ 4 ค่าคุณภาพน้ำบางประการ ของบ่อเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค ฟาร์ม 2 ณ บ้านห้วยส้ม ต.สันกลาง อ.สันป่าตอง จ.เชียงใหม่

Settled floc particles (ml/l)	Ammonia-Nitrogen (mg/l)	Nitrite-Nitrogen (mg/l)	Nitrate-Nitrogen (mg/l)	DO (mg/l)	pH
1.20±0.62	0.05±0.01	0.68±0.32	0.61±0.41	10.02±1.66	8.57±0.29

วิจารณ์ผล

การทดลองที่ 1 ศึกษาการเลี้ยงปลานิลในบ่อลอยของฟาร์มเกษตรกร ฟาร์ม 1 และฟาร์ม 2 ในอำเภอสันป่าตอง

จากการศึกษาการเลี้ยงปลานิลในบ่อลอยของเกษตรกร ฟาร์ม 1 และฟาร์ม 2 ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการเก็บคุณภาพน้ำทุกๆ 1 เดือน พบว่าปริมาณของตะกอนฟลอคมีปริมาณน้อย และยังพบกลิ่นโคลนในบ่อเลี้ยงปลา ส่วนปัจจัยด้านคุณภาพน้ำไม่มีผลกระทบต่อสัตว์น้ำ และสัตว์น้ำสามารถอาศัยอยู่ได้

อย่างไรก็ตาม ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำเฉลี่ยมีค่า 4.43–4.72 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ที่กำหนดโดย กรมควบคุมมลพิษ ซึ่งกำหนดให้ไม่ต่ำกว่า 4 มิลลิกรัมต่อลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2555)

กรรณิการ์ (2525) ความเป็นกรด-ด่างของน้ำธรรมชาติอยู่ในช่วง 4-9 แต่ส่วนใหญ่ค่อนข้างเป็นด่างเล็กน้อยเนื่องจากมีคาร์บอเนต และ ไบคาร์บอเนต ไมตรี และจารุวรรณ (2528) รายงานว่าความแตกต่างของความเป็นกรด-ด่าง ของแหล่งน้ำธรรมชาติขึ้นอยู่กับลักษณะทางภูมิประเทศ และสภาพแวดล้อมหลายประการ เช่น พื้นดินและหิน ปริมาณน้ำฝน และยังมีผลมาจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน นอกจากนี้อิทธิพลของสิ่งมีชีวิตในน้ำ เช่น จุลินทรีย์และแพลงก์ตอนพืช ก็สามารถทำให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างมีการเปลี่ยนแปลงได้

พรรณทภรณ์ (2556) ให้เหตุผลว่า การควบคุมความเข้มข้นของสารอนินทรีย์ไนโตรเจนและอัตราการบำบัดแอมโมเนียโดยตะกอนชีวภาพจากระบบเลี้ยงสัตว์น้ำแบบปิดของตะกอนชีวภาพที่เกิดขึ้นในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำ สามารถควบคุมความเข้มข้นของแอมโมเนียและไนไตรท์ให้ต่ำกว่า 1.0 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร และ สุทธิพงศ์ และคณะ (2556) ให้เหตุผลว่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในการเลี้ยงกุ้งขาว ร่วมกับปลานิลในระบบไบโอฟลอค มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตของปลานิลและกุ้งขาว โดยมีปริมาณไนไตรท์ แอมโมเนียและตะกอนแขวนลอย (TSS) เพิ่มขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

การทดลองที่ 2 ศึกษาการเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค ณ คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ทำการทดลองที่ คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ โดยมีการเลี้ยงปลานิลด้วยอาหารโปรตีน 25% ที่ C/N เท่ากับ 14:1 (T1) และการเลี้ยงปลานิลด้วยอาหารโปรตีน 35% ที่ C/N เท่ากับ 10:1 (T2) ทำการทดลองเป็นระยะเวลา 90 วัน ทำการตรวจสอบค่า

คาร์บอนต่อไนโตรเจน วัดค่าปริมาณฟลอคที่ตกตะกอน ตรวจสอบค่าจีออสมินและเอ็มไอบี วัดค่าคุณภาพน้ำบางประการ และวัดค่าผลการเจริญเติบโต มีผลการทดลองดังนี้

ค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio)

จากการทดลองค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจน ของบ่อเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค ณ คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ในระยะเวลา 90 วัน พบว่า ค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจน ของบ่อ 1, 4 และ 5 มีค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 14:1 และค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจน ของบ่อ 2, 3 และ 6 มีค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 10:1

จากงานวิจัยของ (Martínez-Córdova et al., 2015) กล่าวว่าการควบคุมสัดส่วน C:N ในระบบให้อยู่ในช่วง 15-20 จะช่วยเปลี่ยนรูปแอมโมเนียและสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนให้เป็นมวลชีวภาพของจุลินทรีย์ได้ดีขึ้น และการเติมแหล่งคาร์บอนที่เหมาะสมจะช่วยลดปริมาณแอมโมเนียลงได้ภายในเวลาไม่เกิน 8 ชั่วโมง (ภายหลังจากการเติมแหล่งคาร์บอนในอัตราที่เหมาะสมลงไปแล้ว) และยังสามารถควบคุมโรคได้ อีกด้วยเนื่องจากตะกอนไบโอฟลอคมีสารบางชนิดที่สร้างสารยับยั้งเชื้อโรคทั้งไวรัสและแบคทีเรีย เป็นต้น (Avnimelech, 2015)

ปริมาณฟลอคที่ตกตะกอน

จากการทดลองปริมาณฟลอคที่ตกตะกอนของบ่อเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค ณ คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ในระยะเวลา 90 วัน พบว่า ปริมาณฟลอคที่ตกตะกอน ที่ C/N เท่ากับ 10:1 มีค่ามากกว่าปริมาณฟลอคที่ตกตะกอน ที่ C/N เท่ากับ 14:1 เฉลี่ยเท่ากับ 52.64±1.84 และ 34.73±13.9 ml/l ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 5)

Zhao และคณะ (2012) พบว่าค่าของตะกอนแขวนลอยรวมและอินทรีย์สารแขวนลอยของชุดทดลองที่เติมแหล่งคาร์บอนมีค่าสูงเมื่อเปรียบเทียบกับชุดทดลองควบคุม เนื่องจากตะกอนแขวนลอยรวม และอินทรีย์สารแขวนลอยในระยะแรก เกิดจากการเติมแหล่งคาร์บอน และในระยะหลังเกิดจากกระบวนการสร้างฟลอค โดยในระยะแรกความขุ่นของน้ำเกิดจากตะกอนจากแหล่งอินทรีย์คาร์บอนที่เติมลงไป และเมื่อระยะเวลาผ่านไปปริมาณของฟลอคเพิ่มขึ้น ซึ่งจะเป็นอาหารของสัตว์น้ำต่อไป จากผลการศึกษาครั้งนี้ พบว่า มีตะกอนแขวนลอยรวม มีค่าเฉลี่ยระหว่าง 320 - 802 มิลลิกรัมต่อลิตร สอดคล้องกับการศึกษาของ (Vanitchanai et al., 2009) พบว่าการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนในระบบเทคโนโลยีไบโอฟลอค ในระหว่างการเพาะเลี้ยงปลานิลทำให้ตะกอนแขวนลอยทั้งหมดเพิ่มขึ้นจาก 52 ถึง 1,118 มิลลิกรัมต่อลิตร

ค่าจีออสมิน (Geosmin)

จากการทดลองค่าจีออสมินในน้ำ ของบ่อเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค ณ คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ในระยะเวลา 90 วัน พบว่า ค่าจีออสมินในน้ำ ที่ C/N เท่ากับ 14:1 มีค่ามากกว่า ค่าจีออสมินในน้ำ ที่ C/N เท่ากับ 10:1 เฉลี่ยเท่ากับ 0.10±0.03 และ 0.07±0.03 µg/l ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 5)

ซึ่งใกล้เคียงกับรายงานของ (Lorio et al., 1992) ว่าค่าจีออสมิน และเอ็มไอบี ในบ่อเลี้ยงปลา *Ictalurus punctatus* ระดับของจีออสมิน ในน้ำมีค่าอยู่ระหว่าง 0.000 ถึง 0.097 ug/l และปริมาณเอ็มไอบี ในน้ำมีค่าอยู่ระหว่าง 0.039 ถึง 0.356 ug/l และ (Robertson et al., 2006) ได้รายงานปริมาณ Geosmin ในปลา Rainbow Trout (*Onchorhynchus mykiss*) มีค่าอยู่ระหว่าง 1.0 และ 3.0 ug kg^{-1} และมีค่ามากที่สุดถึง 7.2 ug kg^{-1}

ค่าเอ็มไอบี (MIB)

จากการทดลองค่าเอ็มไอบีในน้ำ ของบ่อเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค ณ คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ในระยะเวลา 90 วัน พบว่า ค่าเอ็มไอบี ในน้ำ ที่ C/N เท่ากับ 14:1 มีค่ามากกว่า ค่าเอ็มไอบี ในน้ำ ที่ C/N เท่ากับ 10:1 เฉลี่ยเท่ากับ 0.07±0.03 และ 0.03±0.02 µg/l ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 ค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจน ปริมาณฟลอคที่ตกตะกอน ค่าจีออสมิน และเอ็มไอบี ของบ่อเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค ณ คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

C/N ratio	Settled floc particles (ml/l)	Geosmin (µg/l)	MIB (µg/l)
14:1	34.73±13.9[a]	0.10±0.03[a]	0.07±0.03[a]
10:1	52.64±1.84[a]	0.07±0.03[a]	0.03±0.02[a]

หมายเหตุ : C/N 14:1 หมายถึง บ่อที่ 1 บ่อที่ 4 และบ่อที่ 5
C/N 10:1 หมายถึง บ่อที่ 2 บ่อที่ 3 และบ่อที่ 6

ค่าคุณภาพน้ำบางประการ

จากการทดลองค่าคุณภาพน้ำบางประการ ของบ่อเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค ณ คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ในระยะเวลา 90 วัน พบว่า ค่าออกซิเจนละลายในน้ำ ที่ C/N เท่ากับ 14:1 มีค่ามากกว่า ค่าออกซิเจนละลายในน้ำ ที่ C/N เท่ากับ

10:1 เฉลี่ยเท่ากับ 7.78±0.12 และ 7.70±0.14 ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่ C/N เท่ากับ 14:1 มีค่ามากกว่า ค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่ C/N เท่ากับ 10:1 เฉลี่ยเท่ากับ 8.15±0.17 และ 8.07±0.58 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ที่ C/N เท่ากับ 10:1 มีค่ามากกว่า แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ที่ C/N เท่ากับ 14:1 เฉลี่ยเท่ากับ 0.15±0.02 และ 0.10±0.01 mg/l ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ค่าไนไตรท์-ไนโตรเจน ที่ C/N เท่ากับ 10:1 มีค่ามากกว่า ไนไตรท์-ไนโตรเจน ที่ C/N เท่ากับ 14:1 เฉลี่ยเท่ากับ 0.12±0.03 และ 0.10±0.01 mg/l ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และค่าไนเตรท-ไนโตรเจนที่ C/N เท่ากับ 10:1 มีค่ามากกว่า ไนเตรท-ไนโตรเจน ที่ C/N เท่ากับ 14:1 เฉลี่ยเท่ากับ 1.55±0.07 และ 1.43±0.06 mg/l ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 6)

ค่าออกซิเจนละลายในน้ำในการทดลอง ใกล้เคียงกับงานวิจัยของ จงกล (2558) ได้ทำการศึกษาระบบไบโอฟลอคกับการผลิตปลานิลอินทรีย์ รายงานว่า มีค่าออกซิเจนละลายในน้ำอยู่ในช่วง 2-6.5 mg/l ค่าความเป็นกรด-ด่าง ใกล้เคียงกับงานวิจัยของ จงกล (2558) ที่ได้ทาการศึกษาระบบไบโอฟลอคกับการผลิตปลานิลอินทรีย์ รายงานว่ามีค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในช่วงระหว่าง 5-9 mg/l ค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจน มีค่ามากกว่างานวิจัยของ จงกล (2558) ที่ได้ทำการศึกษาระบบไบโอฟลอคกับการผลิตปลานิลอินทรีย์ รายงานว่า มีค่าแอมโมเนีย อยู่ระหว่าง 0-0.004 mg/l มีค่าไม่เกิน 1 mg/l มีความปลอดภัยต่อการเลี้ยงปลาค่อนข้างสูง การทดลองของ (Lima et al., 2018) มีปริมาณค่าไนไตร์ท ไนโตรเจนในการทดลองในระบบไบโอฟลอค โดยการเติมสารอินทรีย์ที่แตกต่างกัน พบว่าการทดลองที่มีการเติมกากน้ำตาลลงไปในระบบ มีค่าไนไตรท์ ไนโตรเจน 1.49, 0.82, 0.74 และ 2.30 mg/l มีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยนี้ ในขณะที่งานวิจัยของ (Rono et al., 2018) ได้ทำการศึกษาผลกระทบของเทคโนโลยีไบโอฟลอคต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของปลานิลระหว่างปลานิ้วและตะกอนจุลินทรีย์ในระบบไบโอฟลอค รายงานว่ามีค่าไนเตรทอยู่ระหว่าง 0.009±0.007 – 0.036±0.007 mg/l ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยนี้

ตารางที่ 6 ค่าคุณภาพน้ำบางประการ ของบ่อเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค ณ คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

C/N Ratio	Ammonia-Nitrogen (mg/l)	Nitrite-Nitrogen (mg/l)	Nitrate-Nitrogen (mg/l)	DO (mg/l)	pH
14 : 1	0.10±0.01[a]	0.10±0.01[a]	1.43±0.06[a]	7.78±0.12[a]	8.15±0.17[a]
10 : 1	0.15±0.02[a]	0.12±0.03[a]	1.55±0.07[a]	7.70±0.14[a]	8.07±0.58[a]

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย ±SD ที่ตามด้วยอักษรภาษาอังกฤษที่เหมือนกันในแต่ละคอลัมน์ แสดงถึงความไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)

อัตราการเจริญเติบโต

1. น้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นของปลานิล

จากการทดลองอัตราการเจริญเติบโตของบ่อเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค ณ คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ในระยะเวลา 90 วัน นิล พบว่า ปลานิลของบ่อที่ C:N 10:1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 201.70±51.12 กรัม ซึ่งมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นมากกว่าบ่อที่ C:N 14:1 เท่ากับ 140.33±34.76 กรัม เมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าทางสถิติ พบว่า การเจริญเติบโตทางด้านน้ำหนักของปลานิลมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) (ตารางที่ 7)

2. ความยาวเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นของปลานิล

จากการทดลองอัตราการเจริญเติบโตของบ่อเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค ณ คณะเทคโนโลยี-การประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ พบว่าปลานิลของบ่อที่ C:N 10:1 เท่ากับ 8.59±1.98 เซนติเมตร ซึ่งมีค่าเฉลี่ยความยาวที่เพิ่มขึ้นมากกว่าบ่อที่ C:N 14:1 ที่เท่ากับ 7.29±2.00 กรัม เมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าทางสถิติ พบว่า การเจริญเติบโตทางด้านน้ำหนักของปลานิลมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) (ตารางที่ 7)

3. อัตรารอด

จากการทดลองอัตราการเจริญเติบโตของบ่อเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค ณ คณะเทคโนโลยี-การประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ พบว่าปลานิลของบ่อที่ C:N 10:1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 91.67±1.67 กรัม ซึ่งมีอัตรารอดสูงกว่าบ่อที่ C:N 14:1 ที่เท่ากับ 88.89±2.55 กรัม (ตารางที่ 7)

4. อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน

จากการทดลองอัตราการเจริญเติบโตต่อวัน ของบ่อเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค ณ คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ พบว่าปลานิลของบ่อที่ C:N 10:1

มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.24±0.20 ซึ่งมีอัตราการเจริญเติบโตมากว่าบ่อที่ C:N 14:1 ที่เท่ากับ 1.56±0.23 (ตารางที่ 7)

5. อัตราการแลกเนื้อ

จากการทดลองอัตราการเจริญเติบโตของบ่อเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค ณ คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ พบว่า ปลานิลของบ่อที่ C:N 10:1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.06±0.27 ซึ่งมีอัตราการแลกเนื้อน้อยกว่าบ่อที่ C:N 14:1 ที่เท่ากับ 1.53±0.49 เมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าทางสถิติ พบว่า การเจริญเติบโตทางด้านน้ำหนักของปลานิลมีความแตกต่างกันทางสถิติ (P<0.05) (ตารางที่ 7)

อานุภาพ (2556) ให้เหตุผลว่าการเติมแหล่งคาร์บอนที่แตกต่างกันที่ ประกอบด้วย กากน้ำตาล กากน้ำตาลผสมรำละเอียด กากน้ำตาลผสมขนมปังป่น และ กากน้ำตาลผสมข้าวโพดป่น ไม่ได้มีผลต่ออัตราการรอดตายของปลานิล น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ย ต่อวัน (ADG) และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (SGR) ที่แตกต่างกัน แต่อาจมีผลต่ออัตราการแลกเนื้อ (FCR) ของปลานิลที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

สุทธิพงศ์ และคณะ (2556) ให้เหตุผลว่า อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในการเลี้ยงกุ้งขาวร่วมกับปลานิลในระบบไบโอฟล็อค มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตของปลานิลและกุ้งขาว โดยมีปริมาณไนไตรท์ แอมโมเนียและตะกอนแขวนลอย (TSS) เพิ่มขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

สอดคล้องกับ Azim and Little (2008) รายงานว่าปลานิลที่เลี้ยงโดยเทคโนโลยีไบโอฟลอค มีผลผลิตเพิ่มขึ้น 45 เปอร์เซ็นต์ ในการศึกษาครั้งนี้ทดลองในระบบปิด โดยน้ำจากบ่อกุ้งไหลเวียนสู่บ่อปลานิลซึ่งปลานิลจะกรองกินเศษอาหารและอาหารธรรมชาติ (Flocs) ที่ผลิตจากของเสียจากบ่อกุ้งโดยแบคทีเรีย จากนั้นน้ำจากบ่อปลานิลจะไหลเวียนกลับไปสู่บ่อกุ้ง (Muangkeow et al., 2007)

6. ต้นทุนค่าอาหาร

จากการทดลองการเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค ณ คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ พบว่า ปลานิลของบ่อที่ C:N 14:1 (โปรตีน 25%) มีต้นทุนค่าอาหารอยู่ที่ 13 บาท/กก. และปลานิลของบ่อที่ C:N 10:1 (โปรตีน 35%) มีต้นทุนค่าอาหารอยู่ที่ 16 บาท/กก. เมื่อเทียบต้นทุนค่าอาหารจะเห็นได้ว่า อาหารที่ C:N 14:1 มีต้นทุนค่าอาหารที่ต่ำกว่าอาหารที่ C:N 10:1

ปรีดา และคณะ (2560) ได้ทำการศึกษาศึกษาการให้อาหารที่มีโปรตีน 2 ระดับคือ โปรตีนสูง (40% CP) และ โปรตีนต่ำ (23% CP) ต่อการ เจริญเติบโตและอัตราการรอดของปลานิลแดงวัยอ่อน

โดยมีรูปแบบการให้อาหาร คือ 1) ให้อาหารโปรตีนสูงชนิดเดียว (A) 2) ให้อาหารโปรตีนต่ำชนิดเดียว (B) 3) ให้อาหารโปรตีนสูง 1 วันและให้อาหาร โปรตีนต่ำ 1 วัน (A/B) 4) ให้อาหารโปรตีนสูง 1 วัน และให้อาหารโปรตีนต่ำ 2 วัน (A/2B) พบว่า อัตราการรอด อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อและอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนของปลาที่ได้รับอาหารโปรตีนสูงไม่แตกต่างจากปลาที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีนสูงสลับอาหารโปรตีนต่ำและดีกว่าปลาที่ได้รับอาหารโปรตีนต่ำเพียงอย่างเดียว ต้นทุนอาหารมีความแตกต่างกันทางสถิติ (P<0.05) จากการศึกษาครั้งนี้สรุปได้ว่าการให้อาหารโปรตีนสูงสลับกับอาหารโปรตีนต่ำ สามารถลดต้นทุนด้านอาหารได้โดยไม่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและอัตราการรอดของปลานิลแดงวัยอ่อน

ตารางที่ 7 การศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของปลานิลในระบบไบโอฟลอค

การเจริญเติบโต	**C/N 14:1**	**C/N 10:1**
น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น (กรัม)	63.60±20.42	64.00±18.33
น้ำหนักเฉลี่ยสุดท้าย (กรัม)	203.93±32.04	265.7±44.89
น้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	140.33±34.76^{a}	201.70±51.12^{b}
ความยาวเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น (เซนติเมตร)	7.29±2.00^{a}	8.59±1.98^{b}
อัตรารอด	88.89±2.55	91.67±1.67
อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (ADG) (กรัม/วัน)	1.56±0.23	2.24±0.20
อัตราการแลกเนื้อ (FCR)	1.53±0.49^{a}	1.06±0.27^{b}
โปรตีน (%)	25%	35%
ต้นทุนค่าอาหาร (บาท/กก.)	13	16

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์แสดงถึงความแตกต่างกันทางสถิติ (P<0.05)

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาในครั้งนี้ โดยดำเนินการศึกษา 2 การทดลอง คือ การทดลองที่ 1 ศึกษาการเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค ระยะเวลา 90 วัน ซึ่งทำการศึกษาที่ ฟาร์ม 1 ณ บ้านแม่กุ้งหลวง ต.ทุ่งต้อม อ.สันป่าตอง จ.เชียงใหม่ และฟาร์ม 2 ณ บ้านห้วยส้ม ต.สันกลาง อ.สันป่าตอง จ.เชียงใหม่ และการทดลองที่ 2 ดำเนินการที่คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ผลการศึกษา พบว่า การทดลองที่ 1 ยังพบค่าจีออสมินและเอ็มไอบี ที่เป็นสารก่อให้เกิดกลิ่นโคลนในเนื้อปลา ส่วนปัจจัยด้านคุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์ที่สัตว์น้ำอาศัยอยู่ได้ ส่วนการทดลองที่ 2 พบว่า สัดส่วนอัตราค่า C:N ที่ต่างกัน ส่งผลต่อปริมาณฟลอคที่ตกตะกอนมีค่าสูงกว่า แต่ไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำ แต่มีค่าการเจริญเติบโตของปลานิลแตกต่างกัน ซึ่งมีน้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน อัตราการรอดสูง ที่ C:N เท่ากับ 10:1 แต่เมื่อเทียบกับต้นทุนค่าอาหาร พบว่า ที่ C:N 14:1 มีต้นทุนค่าอาหารต่ำที่สุด

บรรณานุกรม

กรมควบคุมมลพิษ. 2555. **คุณภาพน้ำเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ, มาตรฐานคุณภาพน้ำชายฝั่ง**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_water02.html#s2 (20 สิงหาคม 2563).

กรรณิการ์ สิริสิงห์. 2525. **เคมีน้ำโสโครกและการวิเคราะห์**. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ประยูรวงศ์.

กษิดิศ หนูทอง. 2551. การบำบัดไนโตรเจนในระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบปิด. **วารสารพระจอมเกล้าลาดกระบัง**, 16(1), 11-22.

จงกล พรมยะ. 2558. **ระบบไบโอฟลอคกับการผลิตปลานิลอินทรีย์ ต้นแบบเพื่อวิสาหกิจชุมชน จังหวัดเชียงใหม่**. รายงานผลโครงการพัฒนาอุตสาหกรรมอาหารอินทรีย์. มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

จริยาวดี สุริยพันธุ์ และชนัดดา เกตุมา. 2557. **การสะสมของปริมาณสาร Geosmin และ MIB ในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vannamei*) แบบพัฒนา**. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. มหาวิทยาลัยบูรพา.

บุญเสริม วิทยชำนาญกุล. 2556. **การเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำร่วมกับการอนุบาลลูกปลาทับทิมด้วยระบบน้ำตะกอนชีวภาพสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างกุ้งและปลา**. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. มหาวิทยาลัยมหิดล.

ปรีดา ภูมี, ทาดีละ ลือโมะ และอิษฎา ทองศรี. 2560. ผลของรูปแบบการให้อาหารที่มีโปรตีนต่างกันต่อการเจริญเติบโตและอัตราการรอดของปลานิลแดง (*Oreochromis niloticus × O. mossabicus*) วัยอ่อน. **วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย,** 9(1), 35-42.

พรรณทภรณ์ สิทธิ์พลางกรู. 2556. **ประสิทธิภาพการบำบัดสารอนินทรีย์ไนโตรเจนของตะกอนชีวภาพจากระบบเลี้ยงสัตว์น้ำแบบไบโอฟล็อก**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พุทธ ส่องแสงจินดา. 2554. **การจัดการสารประกอบไนโตรเจนในฟาร์มเลี้ยงกุ้งระบบปิด**. สงขลา: ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลฝั่งอ่าวไทย กรมประมง.

เพิ่มพูน ศักดิ์เกษม. 2531. **ปลานิล**. กรุงเทพฯ: ศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาอาชีพเกษตร.

เรืองไร โตกฤษณะ, กุลภา กุลดิลก, กุลภา บุญชูวงศ์, เบญจวรรณ คงชน และธันย์ธาดา มะวงศ์ไว. 2558. **สถานภาพการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำไทยในบริบทของประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน**. กรุงเทพฯ: สถาบันคลังสมองของชาติ กระทรวงศึกษาธิการ.

วรพงษ์ นลินานนท์. 2545. **การกำจัดกลิ่นไม่พึงประสงค์ในเนื้อปลานิล**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมชาย หวังวิบูลย์กิจ. 2551. **ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Oscillatoria* sp. และ *Microcystis* sp. และความสัมพันธ์ของปริมาณสาหร่ายต่อกลิ่นโคลนในกุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vannamei*) ในบ่อเลี้ยง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

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

สุภาวดี โกยดุลย์. 2549. **เอกสารประกอบการสอน คุณภาพน้ำทางการประมง ภาคทฤษฎี**. สาขาวิชาประมง สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล.

อนุสรา แก่นทอง. 2552. **ไบโอฟลอค** (**Biofloc**) **กับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ตอนไบโอฟลอคฮีโร่ของสัตว์น้ำ**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.nicaonline.com/index.php?option=com (16 เมษายน 2562).

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

อุดมลักษณ์ สมพงษ์, เมราณี อิ่นคำ, จงกล พรมยะ และนิวุฒิ หวังชัย. 2561. ผลการเพาะเลี้ยงปลานิลแดงวัยอ่อนในระบบไบโอฟลอค. **แก่นเกษตร**, 46(5), 833-842.

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 Guidebook**. In The World Aquaculture Society. USA: Baton Rouge, Louisiana.

Avnimelech, Y., M. Kochva. & S. Diab. 1994. Development of controlled intensive aquaculture systems with a limited water exchange and adjusted carbon to nitrogen ratio. **Israel J. Aquaculture Bamidgeh** 46, 119-131.

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.

Bureau of Agricultural Economics Research. 2012. **Study of economy, production, marketing of fishmeal**. [Online]. Available

http://www.oae.go.th/ewtadmin/ewt/oae_baer/download/article/ (27 March 2019).

Burford, M. A., Thompson, P. J., McIntosh, R. P., Bauman, R. H. & Pearson, D. C. 2004. The contribution of flocculated material to shrimp (*Litopenaeus vannamei*) nutrition in a high-intensity, zero-exchange system. **Aquaculture**, 232(1-4), 525-537.

Chen, S., Ling, J. & Blancheton, J.-P. 2006. Nitrification kinetics of biofilm as affected by water quality factors. **Aquacultural Engineering**, 34(3), 179-197.

Colt, J. 2006. Water quality requirements for reuse systems. **Aquacultural Engineering**, 34(3), 143-156.

Crab, R., Avnimelech, Y., Defoirdt, T., Bossier, P. & Verstraete, W. 2007. Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production. **Aquaculture**, 270(1), 1-14.

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

Crab, R., Kochva, M., Verstraete, W. & Avnimelech, Y. 2009. Bio-flocs technology application in over-wintering of tilapia. **Aquacultural Engineering**, 40(3), 105-112.

Direkbusarakom, S. 2015. **Aquaculture by flocculation**. [Online]. Available http://www.coastalaqua.com/files/technology (27 March 2019).

Emerenciano. M, Gaxiola, G. & Gerard, C. (2013). A review for aquaculture application and animal food industry. In **Biomass Now - Cultivation and Utilization**.

Gutierrez R., Whangchai N. & Nomura N. 2013. Geosmin sorption on cyclodextrin polymers. **International Journal of Geosciences**, 4, 24-29.

Hargreaves, J. A. 2013. **Biofloc production systems for aquaculture, No. 4503**. SRAC Publication.

Hari, B., Madhusoodana Kurup, B., Varghese, J. T., Schrama, J. W. & Verdegem, M. C. J. 2006. The effect of carbohydrate addition on water quality and the nitrogen budget in extensive shrimp culture systems. **Aquaculture**, 252(2), 248-263.

Howgate, P. 2004. Tainting of farmed fish by geosmin and 2-methyl-iso-borneol: a review of sensory aspects and of uptake/depuration. **Aquaculture**, 234(1), 155-181.

Izaguirre, G., Hwang, C. J., Krasner, S. W. & McGuire, M. J. 1982. Geosmin and 2-methylisoborneol from cyanobacteria in three water supply systems. **Applied and environmental microbiology**, 43(3), 708-714.

Johnsen PB & Lloyd SW. 1992. Influence of fat content on uptake and depuration of the off-flavor 2-methylisoborneol by channel catfish (*Ictalurus punctatus*). **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, 49(11), 2406-2411.

Johnsen, P. B. & P.C. Dionigi. 1994. Effect of temperature on uptake and depuration of 2-methylisoborneol in channel catfish (*Ictalurus punctatus*). **J. World Aqua. Soc.**, 27(1), 15-20.

Kobayashi, M. & Kobayashi, M. (1995). Waste Remediation and Treatment Using Anoxygenic Phototrophic Bacteria. In R. E. Blankenship, M. T. Madigan & C. E. Bauer (Eds.), **Anoxygenic Photosynthetic Bacteria** (pp. 1269-1282). Dordrecht: Springer Netherlands.

Körner, S., Das, S. K., Veenstra, S. & Vermaat, J. E. 2001. The effect of pH variation at the ammonium/ammonia equilibrium in wastewater and its toxicity to Lemna gibba. **Aquatic Botany**, 71(1), 71-78.

Lima, E. C. R. d., Souza, R. L. d., Girao, P. J. M., Braga, Í. F. M. & Correia, E. d. S. 2018. Culture of Nile tilapia in a biofloc system with different sources of carbon. **Revista Ciência Agronômica**, 49, 458-466.

Lloyd, S. W. & Grimm, C. C. 1999. Analysis of 2-Methylisoborneol and Geosmin in Catfish by Microwave Distillation−Solid-Phase Microextraction. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 47(1), 164-169.

Lorio, W. J., Perschbacher, P. W. & Johnsen, P. B. 1992. Relationship between water quality, phytoplankton community and off-flavors in channel catfish (*Ictalurus punctatus*) production ponds. **Aquaculture**, 106(3), 285-292.

Martínez-Córdova, L. R., Emerenciano, M., Miranda-Baeza, A. & Martínez-Porchas, M. 2015. Microbial-based systems for aquaculture of fish and shrimp: an updated review. **Reviews in Aquaculture**, 7(2), 131-148.

Muangkeow, B., Ikejima, K., Powtongsook, S. & Yi, Y. 2007. Effects of white shrimp, *Litopenaeus vannamei* (Boone), and Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L., stocking density on growth, nutrient conversion rate and economic return in integrated closed recirculation system. **Aquaculture***,* 269(1)*,* 363-376.

Neori, A., Chopin, T., Troell, M., Buschmann, A. H., Kraemer, G. P., Halling, C., Shpigel, M. & Yarish, C. 2004. Integrated aquaculture: rationale, evolution and state of the art emphasizing seaweed biofiltration in modern mariculture. **Aquaculture***,* 231(1)*,* 361-391.

Nootong, K., Pavasant, P. & Powtongsook, S. 2011. Effects of Organic Carbon Addition in Controlling Inorganic Nitrogen Concentrations in a Biofloc System. **Journal of the World Aquaculture Society***,* 42(3)*,* 339-346.

Ogello, E., Musa, S., Aura, C., Abwao, J. O. & Munguti, J. M. 2014. An Appraisal of the Feasibility of Tilapia Production in Ponds Using Biofloc Technology: A review. **International Journal of Aquatic Science***,* 5, 21-39.

Read P. & Fernandes T. 2003. Management of environmental impacts of marine aquacul-ture in Europe. **Aquaculture***,* 226, 139-163.

Robertson, R. F., Hammond, A., Jauncey, K., Beveridge, M. C. M. & Lawton, L. A. 2006. An investigation into the occurrence of geosmin responsible for earthy–musty taints in UK farmed rainbow trout, *Onchorhynchus mykiss*. **Aquaculture***,* 259(1)*,* 153-163.

Rono, K., Tarus, A., Manyala, J. O., Obado, E., Ngugi, C., Egna, H. & Fitzsimmons, K. 2018. **Effect of Biofloc Technology on growth performance of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerling and microbial colonization in the system.** . Kenya: University of Eldoret.

Rungreungwudhikrai E. 1995. **Characterization and classification of off-flavor of nile tilapia.** Master Thesis. Asian Institute of Technology.

Schveitzer, R., Arantes, R., Baloi, M. F., Costódio, P. F. S., Arana, L. V., Seiffert, W. Q. & Andreatta, E. R. 2013. Use of artificial substrates in the culture of *Litopenaeus vannamei* (Biofloc System) at different stocking densities: Effects on microbial activity, water quality and production rates. **Aquacultural Engineering***,* 54, 93-103.

Tanchotokul, U. 1990. **Studies on important volatile flavor compounds in Louisiana rangia clam (Rangia cuneata).** Doctoral dissertation. Louisiana state university.

Vanitchanai, W., Powtongsook, S. & Nootong, K. 2009. Effect of organic carbon addition on inorganic nitrogen control and bio-flocs characteristics during the closed water tilapia grow out in suspension systems. (p. 1-6). In **The 35th Congress on Science and Technology of Thailand**. Burapha University.

Zaki, M. A. A., Alabssawy, A. N., Nour, A. E.-A. M., El Basuini, M. F., Dawood, M. A. O., Alkahtani, S. & Abdel-Daim, M. M. 2020. The impact of stocking density and dietary carbon sources on the growth, oxidative status and stress markers of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) reared under biofloc conditions. **Aquaculture Reports**, 16, 100282.

Zhao, P., Huang, J., Wang, X.-H., Song, X.-L., Yang, C.-H., Zhang, X.-G. & Wang, G.-C. 2012. The application of bioflocs technology in high-intensive, zero exchange farming systems of Marsupenaeus japonicus. **Aquaculture**, 354-355, 97-106.

ภาคผนวก

ภาพผนวกที่ 1 บ่อเลี้ยงปลานิล ฟาร์ม 1 ณ บ้านแม่กุ้งหลวง ต.ทุ่งต้อม อ.สันป่าตอง จ.เชียงใหม่

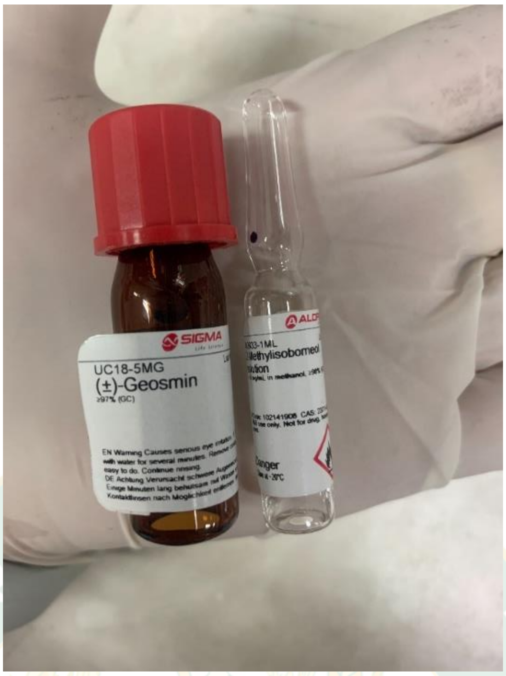
ภาพผนวกที่ 2 การตรวจสอบปริมาณการตกตะกอนของไบโอฟลอค โดยใช้ Imhoff Cone ฟาร์ม 1 ณ บ้านแม่กุ้งหลวง ต.ทุ่งต้อม อ.สันป่าตอง จ.เชียงใหม่

ภาพผนวกที่ 3 บ่อไบโอฟลอค ที่คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ภาพผนวกที่ 4 ตรวจสอบค่าการเจริญเติบโตของปลานิลในระบบไบโอฟลอค ที่คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

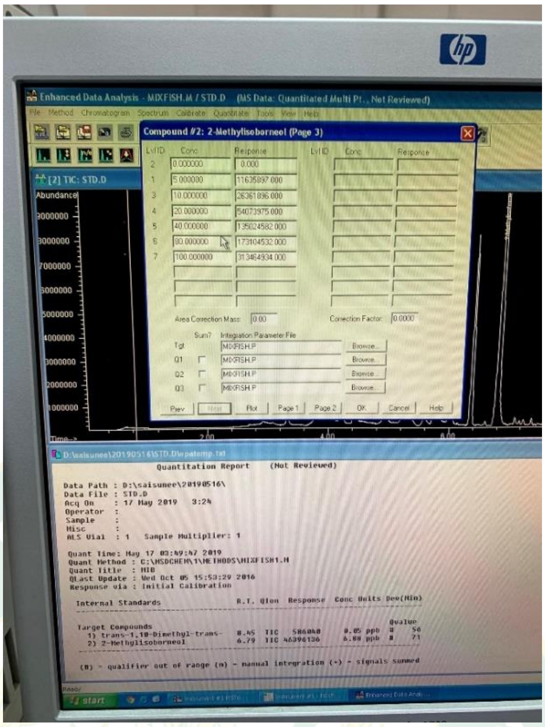
ภาพผนวกที่ 5 ตรวจสอบค่าคุณภาพน้ำในระบบไบโอฟลอค ที่คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ภาพผนวกที่ 6 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจสอบกลิ่นโคลน



ภาพผนวกที่ 7 สารมาตรฐาน จีออสมิน และเอ็มไอบี

ภาพผนวกที่ 8 ตรวจสอบปริมาณกลิ่นโคลน: จีออสมิน และ เอ็มไอบี ใช้วิธี Gas Chromatography–mass Spectrometry (GC-MS)



ภาพผนวกที่ 9 การแสดงผลตรวจสอบปริมาณกลิ่นโคลน: จีออสมิน และ เอ็มไอบี ใช้วิธี Gas Chromatography–mass Spectrometry (GC-MS)

ผลงานวิจัยตีพิมพ์เผยแพร่

1. วรวิทย์ ชูขวัญนวล, สายสุนีย์ จิตมโนวรรณ์ และสุดาพร ตงศิริ. 2560. การเจริญเติบโตของปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมหญ้าหมักจากกระเพาะวัว. **วารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง,** 11(2), 11-19.
2. โฉมอนันต์ โพธิวงค์, ชาญวิทย์ สุวรรณ์, พงศกร น้อยมูล, ภัคธีมา ยาวิชัย, สายสุนีย์ จิตมโนวรรณ์ และชนกันต์ จิตมนัส. 2563. ผลของพืชสมุนไพรต่อภูมิคุ้มกันและการเจริญเติบโตของปลา. **วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา,** 25(2), 595-616.
3. Saisunee Jitmanowan, Sudapon Tongsiri, Tipsukhon Pimpimol, Nakao Nomurab and Niwooti Whangchai. 2019**. Effect of Nutrient Loading on Off-flavors Taints in Tilapia Ponds Water in Biofloc System**. In Universal Academic Cluster International Summer Conference (pp. 24-32). Hokkaido.

MAEJO UNIVERSITY

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นางสาวสายสุนีย์ จิตมโนวรรณ์
เกิดเมื่อ	12 มีนาคม 2536
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2550 มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนเทศบาล 6 นครเชียงราย จังหวัดเชียงราย
	พ.ศ. 2554 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนเทศบาล 6 นครเชียงราย จังหวัดเชียงราย
	พ.ศ. 2559 ปริญญาตรีวิทยาศาสตรบัณฑิตการประมง (การประมง) มหาวิทยาลัยแม่โจ้จังหวัดเชียงใหม่
	พ.ศ. 2562 ได้รับทุนการศึกษาระยะสั้นจาก โครงการ JASSO ณ TSUKUBA of University

MAEJO UNIVERSITY