สำนักงานบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ระดับการประเมินคุณภาพ

☐ ดีเยี่ยม ☐ ดีมาก

☑ ดี ☐ ปานกลาง

ผลของระบบการผลิตต่อปริมาณกลิ่นโคลนที่สะสมในเนื้อปลานิล

ชยารัตน์ ปลื้มสำราญ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการประมง
สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2553

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการประมง

ชื่อเรื่อง

ผลของระบบการผลิตต่อปริมาณกลิ่นโคลนที่สะสมในเนื้อปลานิล

โดย

ชยารัตน์ ปลื้มสำราญ

พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการที่ปรึกษา .....

(รองศาสตราจารย์ ดร.นิวุฒิ หวังชัย)

วันที่ 6 เดือน พ.ค. พ.ศ. 53

กรรมการที่ปรึกษา .....

(รองศาสตราจารย์ ดร.เกรียงศักดิ์ เม่งอำพัน)

วันที่ 9 เดือน พ.ค. พ.ศ. 53

กรรมการที่ปรึกษา .....

(ว่าที่ร้อยตรี ดร.จงกล พรมยะ)

วันที่ 4 เดือน พ.ค. พ.ศ. 53

ประธานกรรมการประจำหลักสูตร .....

(รองศาสตราจารย์ ดร.เกรียงศักดิ์ เม่งอำพัน)

วันที่ 9 เดือน พ.ค. พ.ศ. 53

สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการรับรองแล้ว .....

(รองศาสตราจารย์ ดร.เทพ พงษ์พานิช)

ประธานกรรมการบัณฑิตศึกษา

วันที่ 17 เดือน พ.ค. พ.ศ. 2553

ชื่อเรื่อง ผลของระบบการผลิตต่อปริมาณกลิ่นโคลนที่สะสมในเนื้อปลานิล
ชื่อผู้เขียน นางสาวชยารัตน์ ปลื้มสำราญ
ชื่อปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการประมง
ประธานกรรมการที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.นิวุฒิ หวังชัย

บทคัดย่อ

คุณภาพเนื้อปลามีความสำคัญต่อการบริโภคภายในประเทศและการส่งออก ระบบการผลิตปลานิลอาจส่งผลต่อคุณภาพเนื้อปลาโดยเฉพาะการสะสมของกลิ่นโคลนซึ่งปลานิลได้รับจากไซยาโนแบคทีเรียและแบคทีเรียแอคติโนมัยซีสบางชนิดที่สร้างสารประกอบที่สร้างกลิ่นโคลน (จีออสมินและเอ็มไอบี) การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบปริมาณกลิ่นโคลนในเนื้อปลานิลที่เลี้ยงในระบบการผลิตต่างกัน 2 ระบบ ได้แก่ การเลี้ยงปลานิลในกระชังและบ่อดิน (การทดลองที่ 1) นอกจากนี้ยังศึกษาความสัมพันธ์ของอายุบ่อต่อชนิดของแพลงก์ตอนพืชและแบคทีเรียแอคติโนมัยซีสที่สร้างกลิ่นโคลน (การทดลองที่ 2) ในการทดลองที่ 1 ศึกษาผลของระบบการผลิตต่อการสะสมกลิ่นโคลนในเนื้อปลานิล ทำการเลี้ยงปลานิลในกระชังจำนวน 9 กระชัง และการเลี้ยงปลานิลในบ่อดินจำนวน 9 บ่อ โดยศึกษาที่อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย วิเคราะห์กลิ่นโคลนในเนื้อปลานิลโดยใช้อุปกรณ์ Solid Phase Microextraction (SPME) ร่วมกับเครื่อง Gas Chromatography Mass Spectrometry (GC/MS) พบว่าปริมาณจีออสมินและเอ็มไอบีในเนื้อปลานิลที่เลี้ยงในกระชังมีค่าต่ำกว่าในบ่อดิน ($p \leq 0.05$) โดยปลานิลที่เลี้ยงในกระชังและบ่อดินมีค่าจีออสมินและเอ็มไอบี 0.66±0.11 และ 2.61±0.51 ไมโครกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ และปริมาณเอ็มไอบีในเนื้อปลานิลที่เลี้ยงในกระชังและบ่อดิน 2.45±0.50 และ 4.55±0.59 ไมโครกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ ไซยาโนแบคทีเรียที่สร้างสารประกอบกลิ่นโคลนที่พบในน้ำในกระชังและบ่อดิน ได้แก่ *Anabaena* sp. (23.33-30.00×10^3 เซลล์/มิลลิลิตร), *Oscillatoria* sp. (13.33-26.67×10^3 เซลล์/มิลลิลิตร) และ *Pseudanabaena* sp. (16.67-26.67×10^3 เซลล์/มิลลิลิตร) ตามลำดับ และที่พบในบ่อดิน ได้แก่ *Anabaena* sp. (3.33-177.00×10^3 เซลล์/มิลลิลิตร), *Oscillatoria* sp. (43.33-176.67×10^3 เซลล์/มิลลิลิตร) และ *Pseudanabaena* sp. (6.67-53.33×10^3 เซลล์/มิลลิลิตร) ตามลำดับ และการทดลองที่ 2 ศึกษาผลของอายุบ่อต่อชนิดของแพลงก์ตอนพืชและแบคทีเรียแอคติโนมัยซีสที่สร้างกลิ่นโคลนในเนื้อปลานิล พบว่าไม่มีความสัมพันธ์ของกลิ่นโคลนที่อายุบ่อต่างกัน ($p \geq 0.05$)

และไม่พบความสัมพันธ์ของไซยาโนแบคทีเรียที่สร้างกลิ่นโคลนในเนื้อปลานิลที่อายุบ่อต่างกัน ($p \geq 0.05$) แต่อย่างไรก็ตามจากการตรวจนับชนิดและปริมาณของไซยาโนแบคทีเรียที่สร้างกลิ่นโคลน ได้แก่ *Phormidium* sp. (0.00-236.67×10^3 เซลล์/มิลลิลิตร), *Oscillatoria* sp. (0.00-103.33×10^3 เซลล์/มิลลิลิตร), *Anabaena* sp. (0.00-203.33×10^3 เซลล์/มิลลิลิตร) และ *Pseudanabaena* sp. (0.00-253.33×10^3 เซลล์/มิลลิลิตร) ตามลำดับ จากการตรวจวิเคราะห์ปริมาณเชื้อแบคทีเรียแอคติโนมัยซีสในดินพื้นบ่อ (0.25×10^3-2.02×10^6 เซลล์/กรัมของดินแห้ง) ซึ่งไม่พบความสัมพันธ์ของปริมาณเชื้อแบคทีเรียแอคติโนมัยซีสที่อายุบ่อต่างกัน ($p \geq 0.05$) ดังนั้นสรุปได้ว่าเนื้อปลานิลที่เลี้ยงในกระชังมีการสะสมของกลิ่นโคลนน้อยกว่าเนื้อปลานิลที่เลี้ยงในบ่อดิน และไซยาโนแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดกลิ่นโคลนในเนื้อปลานิล ได้แก่ *Oscillatoria* sp., *Anabaena* sp., *Pseudanabaena* sp. และ *Phormidium* sp.

Title Effect of culture systems on accumulation of musty-odor in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) flesh

Author Miss Chayarat Pleumsumran

Degree Master of Science in Fisheries Technology

Advisory Committee Chairperson Associate Professor Dr. Niwooti Whangchai

ABSTRACT

Tilapia flesh (*Oreochromis niloticus*) quality is an important trait for both local consumption and export. Culture systems may directly affect tilapia flesh quality, especially the accumulation of a musty-odor. The main causes of this musty-odor are the blooms of cyanobacteria and actinomycetes which produced geosmin and 2-methylisoborneol (MIB). The aims of this study were to compare the effect of 2 culture systems (cages and earthen ponds) on the accumulation of musty-odor in tilapia flesh and to investigate the correlation between pond ages and the types of phytoplankton and actinomycetes which produce musty-odor flesh. The study was conducted in Phan District, Chiangrai Province. In the first experiment, The effects of culture system on accumulation of musty-odor in fish flesh were investigated. Tilapias were cultured in 9 cages and 9 earthen ponds. Fish from each culture systems were collected for analyses using Solid Phase Microextraction (SPME) and Gas Chromatography Mass Spectrometry (GC/MS). The results revealed that geosmin and MIB levels in the flesh of tilapia cultured in cages were less than those cultured in earthen ponds ($p \leq 0.05$). Geosmin levels in the flesh of tilapia raised in cages and earthen ponds were 0.66±0.11 and 2.61±0.51 μg/kg, respectively. MIB levels in the flesh of tilapia from cages and earthen ponds were 2.45±0.50 and 4.55±0.59 μg/kg, respectively. The musty-odor producing cyanobacteria in the water taken from cages were *Anabaena* sp. ($23.33\text{-}30.00\times10^3$ cells/mL), *Oscillatoria* sp. ($13.33\text{-}26.67\times10^3$ cells/mL) and *Pseudanabaena* sp. ($16.67\text{-}26.67\times10^3$ cells/mL, respectively. The identified cyanobacteria from water in tilapia earthen ponds were *Anabaena* sp. ($3.33\text{-}177.00\times10^3$ cells/mL), *Oscillatoria* sp. ($43.33\text{-}176.67\times10^3$ cells/mL) and *Pseudanabaena* sp. ($6.67\text{-}53.33\times10^3$ cells/mL),

respectively. In the second experiment, the effects of pond ages on phytoplankton and actinomycetes which produce musty-odor flesh were studied. The results showed that no significant exists between pond ages, and bacteria (phytoplankton and actinomycetes) numbers and musty-odor. However, both musty-odor producing bacteria families were found in all samples, i.e. *Phormidium* sp. ($0.00\text{-}236.67\times10^3$ cells/mL), *Oscillatoria* sp. ($0.00\text{-}103.33\times10^3$ cells/mL), *Anabaena* sp. ($0.00\text{-}203.33\times10^3$ cells/mL) and *Pseudanabaena* sp. ($0.00\text{-}253.33\times10^3$ cells/mL). Numbers of actinomycetes were ($0.25\times10^3\text{-}2.02\times10^6$ cells/g soil dry weight). In summary, the cage culture system of tilapia has a higher quality in term of musty-odor contamination compared to those from earthen ponds. The species of cyanobacteria which cause musty-odor in the flesh of fish from earthen ponds were *Phormidium* sp., *Oscillatoria* sp., *Anabaena* sp. and *Pseudanabaena* sp.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลงได้เพราะผู้ทำวิจัยได้รับโอกาส ความช่วยเหลือ คำปรึกษา อีกทั้งยังสนับสนุนงบประมาณ เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมี สำหรับใช้ในการทำวิจัย รวมถึงเป็นผู้ถ่ายทอดองค์ความรู้ การวางแผนการทดลอง แนวทางปฏิบัติในการดำเนินงานวิจัย และเป็นต้นแบบของผู้วิจัยที่จะดำเนินรอยตาม เนื่องในโอกาสนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.นิวุฒิ หวังชัย ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.เกรียงศักดิ์ เม่งอำพัน ว่าที่ร้อยตรี ดร.จงกล พรมยะ กรรมการที่ปรึกษา และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิรวดี ชมเดช คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์ และสละเวลาสำหรับการตรวจทานแก้ไขต้นฉบับจนกระทั่งวิทยานิพนธ์ถูกต้องสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ทางด้านเทคโนโลยีการประมง ซึ่งเป็นพื้นฐานในการทำวิจัย และขอขอบคุณ น.ส. ศิรประภา ฟ้ากระจ่าง ที่คอยเป็นกำลังใจผลักดันให้ผู้วิจัยฝ่าฟันอุปสรรคจนงานวิจัยสำเร็จลุล่วง รวมถึงพี่ ๆ บุคลากรทุกท่าน และน้อง ๆ ใน Lab. ที่ให้ความร่วมมือ

ขอขอบพระคุณสำนักงานคณะกรรรมการวิจัยแห่งชาติ ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัย ปีงบประมาณ 2551 (กค./2551-42) ชื่อโครงการ การพัฒนากระบวนการผลิตสัตว์น้ำให้มีคุณภาพและปลอดภัย: การพัฒนาการเลี้ยงปลานิลให้ปลอดภัยจากการปนเปื้อนของสารพิษและกลิ่นไม่พึงประสงค์ ขอขอบคุณศูนย์เทคโนโลยีชีวภาพ และสถาบันบริการตรวจสอบคุณภาพและมาตรฐานผลิตภัณฑ์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือ เครื่อง Gas Chromatography mass spectrometry ห้องวิเคราะห์ตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์สารประกอบจีออสมินและเอ็มไอบี ขอขอบคุณเจ้าของฟาร์มปลานิล อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย ทุกท่านที่เอื้อเฟื้อสถานที่การทำงานวิจัยในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และสมาชิกในครอบครัวปลื้มสำราญ ที่ช่วยส่งเสริมสนับสนุน และเป็นกำลังใจที่สำคัญให้ผู้วิจัยได้ศึกษาเล่าเรียน ผู้เป็นเบื้องหลังความสำเร็จ คุณประโยชน์ที่พึงมีทั้งหมดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ผู้วิจัยขอมอบให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ชยารัตน์ ปลื้มสำราญ

พฤษภาคม 2553

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
ABSTRACT	(5)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญ	(8)
สารบัญตาราง	(12)
สารบัญภาพ	(13)
สารบัญตารางผนวก	(17)
บทที่ 1 บทนำ	1
วัตถุประสงค์	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
ขอบเขตการวิจัย	3
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร	4
การเลี้ยงปลานิล	4
ระบบการผลิตปลานิล	5
การเลี้ยงปลานิลในบ่อดิน	5
การเลี้ยงปลานิลในกระชัง	6
การเลี้ยงปลานิลแบบผสมผสาน	8
กลิ่นโคลนหรือกลิ่นไม่พึงประสงค์	10
การผลิตกลิ่นโคลน	13
ไซยาโนแบคทีเรียกับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ	13
แอคติโนมัยซีส	17
การเกิดกลิ่นโคลนในสัตว์น้ำ	19
การสะสมของจีออสมินและเอ็มไอบีในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ	20
สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน	22
ปัญหาของการผลิตปลานิลระบบน้ำเขียว	25
วิธีการลดและการกำจัดสารประกอบที่ทำให้เกิดกลิ่นโคลน	26
พารามิเตอร์ทางด้านคุณภาพน้ำ	31

หน้า

บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ 37
การทดลองที่ 1 ศึกษาผลของระบบการผลิต (การเลี้ยงปลานิลในกระชังและบ่อดิน) ต่อการสะสมกลิ่นโคลนในเนื้อปลานิล 37
การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของอายุบ่อต่อชนิดของแพลงก์ตอนพืชและแอคติโนมัยซีสที่ก่อให้เกิดกลิ่นโคลนในเนื้อปลานิลที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียว 43
บทที่ 4 ผลการวิจัย 49
การทดลองที่ 1 ศึกษาผลของระบบการผลิต (การเลี้ยงปลานิลในกระชังและบ่อดิน) ต่อการสะสมกลิ่นโคลนในเนื้อปลานิล 49
ปริมาณสารจีออสมินในเนื้อปลานิลและน้ำที่เลี้ยงปลานิลในระบบการผลิตต่างกัน 49
ปริมาณสารเอ็มไอบีในเนื้อปลานิลและน้ำที่เลี้ยงปลานิลในระบบการผลิตต่างกัน 50
ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ 52
ปริมาณไซยาโนแบคทีเรีย 52
ปริมาณชนิดไซยาโนแบคทีเรียที่ผลิตกลิ่นโคลน 53
การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของอายุบ่อต่อชนิดของแพลงก์ตอนพืชและแอคติโนมัยซีสที่ก่อให้เกิดกลิ่นโคลนในเนื้อปลานิลที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียว 55
ผลของอายุบ่อต่อปริมาณชนิดแพลงก์ตอนพืช 55
ผลของอายุบ่อต่อปริมาณชนิดแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Chlorophyta 55
ผลของอายุบ่อต่อปริมาณชนิดแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Cyanophyta 57
ผลของอายุบ่อต่อปริมาณชนิดแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Euglenophyta 59
ผลของอายุบ่อต่อปริมาณชนิดแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Bacillariophyta 61
ผลของอายุบ่อต่อปริมาณชนิดแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Cryptophyta 63
ผลของอายุบ่อต่อปริมาณชนิดแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Chrysophyta 65
ผลของอายุบ่อต่อปริมาณแบคทีเรียแอคติโนมัยซีส 73

หน้า

ผลของอายุบ่อต่อปริมาณสารจีออสมินและเอ็มไอบีในดินพื้นบ่อ น้ำ และเนื้อปลานิลจากบ่อเลี้ยงปลานิลระบบน้ำเขียว 74
ปริมาณสารจีออสมินในดิน น้ำ และเนื้อปลานิลจากบ่อเลี้ยงปลานิลระบบน้ำเขียว 74
ปริมาณสารเอ็มไอบีในดิน น้ำ และเนื้อปลานิลจากบ่อเลี้ยงปลานิลระบบน้ำเขียว 75
คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลานิลที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียว 77
ปริมาณความเป็นกรด-ด่าง 77
ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ 78
อุณหภูมิ 79
ปริมาณความเป็นด่าง 80
ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ 81
ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน 82
ปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจน 83
ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน 84
ปริมาณออร์โธฟอสเฟต 85
ความขุ่น 86
บทที่ 5 วิจารณ์ผลการวิจัย 87
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัย 95
บรรณานุกรม 97
ภาคผนวก 111
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ 112
การวิเคราะห์แอมโมเนีย 113
การวิเคราะห์ไนไตรท์ 115
การวิเคราะห์ไนเตรท 117
การวิเคราะห์ออร์โธฟอสเฟต 120
การวิเคราะห์ความเป็นด่าง 122
การวิเคราะห์คลอโรฟิลล์ เอ 124

หน้า

ภาคผนวก ข การแยกเชื้อแอคติโนมัยซีสในดิน 126
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารจีออสมินและเอ็มไอบี 129
ภาคผนวก ง ประวัติผู้วิจัย 132

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
1	ปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยคอกชนิดต่าง ๆ	10
2	ลักษณะทางเคมีและฟิสิกส์ของจีออสมินและเอ็มไอบี	12
3	ชนิดของไซยาโนแบคทีเรีย (cyanobacteria) ที่ผลิตสารประกอบกลิ่นโคลน	15
4	ชนิดของแอคติโนมัยซีส และ non-cyanobacteria ที่ผลิตจีออสมิน (GE) และเอ็มไอบี (MIB)	18
5	ปริมาณกลิ่นโคลนที่สะสมในสัตว์น้ำชนิดต่าง ๆ	20
6	เปอร์เซ็นต์การลดของสารจีออสมินตามปริมาณความเข้มข้นของกรดอะซิติก เถ้าใบกล้วย แคลเซียมไฮดรอกไซด์ และโซเดียมคลอไรด์ ในระยะเวลา 5 นาที สำหรับการลดกลิ่นในเนื้อปลานิล	29
7	การลดลงของสารเอ็มไอบีและจีออสมินจากการ ozonation จากแหล่งน้ำต่าง ๆ	30
8	คุณภาพน้ำในระบบการผลิตปลานิล หน่วยการทดลองที่ 1 (กระชัง) และหน่วยการทดลองที่ 2 (บ่อดิน)	54
9	ปริมาณชนิดแพลงก์ตอนพืชที่พบในบ่อเลี้ยงปลานิลระบบน้ำเขียว	67

สารบัญภาพ

ภาพ		หน้า
1	การสังเคราะห์สารให้กลิ่นโคลน (จีออสมินและเอ็มไอบี) ในวิถีเทอร์ปีน	11
2	โครงสร้างของจีออสมินและเอ็มไอบี	12
3	(A) การแยกชนิดแอคติโนมัยซีสจากบ่อเลี้ยงปลาเทร้าท์พบว่ามีลักษณะใกล้เคียงกับสายพันธุ์ *Rothia* spp. (B) *Streptomyces griseus* spp.	18
4	การสะสมของสารจีออสมินและเอ็มไอบีตามช่วงฤดูกาล	22
5	ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิต่อปริมาณจีออสมิน และเอ็มไอบีในปลาเทร้าท์	25
6	(A) บ่อทดลองระบบการผลิตปลานิลโดยการเลี้ยงปลานิลในกระชัง (B) บ่อดิน	38
7	(A) ตัวอย่างเนื้อปลา (B) การสกัดที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส และฉีดไฟเบอร์นาน 12 นาที (C) นำ SPME เสียบที่เครื่อง GC/MS (D) เครื่อง GC/MS ทำการประมวลผล	39
8	Retation time ของสารจีออสมินและเอ็มไอบี ที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC/MS	39
9	Mass spectrum ของสารจีออสมิน (trans-1, 10-Dimethyl-trans-9-decalinol)	40
10	Mass spectrum ของสารเอ็มไอบี (2-methylisoborneol)	40
11	(A) การตรวจสอบคุณภาพน้ำในภาคสนาม โดยใช้ TOA multimeter รุ่น WQC-22A (B) การจำแนกชนิดแพลงก์ตอนพืชภายใต้กล้องจุลทรรศน์ภายในห้องปฏิบัติการ	41
12	บ่อทดลองการเลี้ยงปลานิลด้วยระบบน้ำเขียว เลี้ยงปลานิลในบ่อดินอายุ 1 ปี	43
13	บ่อทดลองการเลี้ยงปลานิลด้วยระบบน้ำเขียว เลี้ยงปลานิลในบ่อดินอายุ 3 ปี	44
14	บ่อทดลองการเลี้ยงปลานิลด้วยระบบน้ำเขียว เลี้ยงปลานิลในบ่อดินอายุ 6 ปี	45
15	บ่อทดลองการเลี้ยงปลานิลด้วยระบบน้ำเขียว เลี้ยงปลานิลในบ่อดินอายุ 10 ปี	45
16	(A) การเก็บตัวอย่างปลานิล (B) การเก็บตัวอย่างน้ำ (C) การเก็บตัวอย่างดินพื้นบ่อ และ (D) การกรองแพลงก์ตอนพืชในบ่อเลี้ยงปลานิลระบบน้ำเขียว	47
17	ปริมาณสารจีออสมินในเนื้อปลานิลที่เลี้ยงด้วยระบบการผลิตต่างกัน (n=9)	49
18	ปริมาณสารจีออสมินในน้ำที่เลี้ยงปลานิลด้วยระบบการผลิตต่างกัน (n=9)	50
19	ปริมาณสารเอ็มไอบีในเนื้อปลาที่เลี้ยงปลานิลด้วยระบบการผลิตต่างกัน (n=9)	51
20	ปริมาณสารเอ็มไอบีในน้ำที่เลี้ยงปลานิลด้วยระบบการผลิตต่างกัน (n=9)	51
21	ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในน้ำที่เลี้ยงปลานิลด้วยระบบการผลิตต่างกัน (n=9)	52
22	ปริมาณไซยาโนแบคทีเรียในน้ำที่เลี้ยงปลานิลด้วยระบบการผลิตต่างกัน (n=9)	53

ภาพ		หน้า
23	ปริมาณชนิดไซยาโนแบคทีเรียที่ผลิตกลิ่นโคลนในบ่อดินและกระชัง (n=9)	53
24	ค่าเฉลี่ยของปริมาณแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Chlorophyta ในบ่อเลี้ยงปลานิล ระบบน้ำเขียวโดยเลี้ยงปลานิลที่อายุบ่อต่างกัน	56
25	ค่าเฉลี่ยจำนวนชนิดของแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Chlorophyta ในบ่อเลี้ยงปลานิล ระบบน้ำเขียวโดยเลี้ยงปลานิลที่อายุบ่อต่างกัน	56
26	ค่าเฉลี่ยของปริมาณแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Cyanophyta ในบ่อเลี้ยงปลานิล ระบบน้ำเขียวโดยเลี้ยงปลานิลที่อายุบ่อต่างกัน	58
27	ค่าเฉลี่ยจำนวนชนิดของแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Cyanophyta ในบ่อเลี้ยงปลานิล ระบบน้ำเขียวโดยเลี้ยงปลานิลที่อายุบ่อต่างกัน	58
28	ค่าเฉลี่ยปริมาณแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Euglenophyta ในบ่อเลี้ยงปลานิล ระบบน้ำเขียวโดยเลี้ยงปลานิลที่อายุบ่อต่างกัน	60
29	ค่าเฉลี่ยจำนวนชนิดของแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Euglenophyta ในบ่อเลี้ยงปลานิล ระบบน้ำเขียวโดยเลี้ยงปลานิลที่อายุบ่อต่างกัน	60
30	ค่าเฉลี่ยปริมาณแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Bacillariophyta ในบ่อเลี้ยงปลานิล ระบบน้ำเขียวโดยเลี้ยงปลานิลที่อายุบ่อต่างกัน	62
31	ค่าเฉลี่ยจำนวนชนิดของแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Bacillariophyta ในบ่อเลี้ยงปลานิล ระบบน้ำเขียวโดยเลี้ยงปลานิลที่อายุบ่อต่างกัน	62
32	ค่าเฉลี่ยปริมาณแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Cryptophyta ในบ่อเลี้ยงปลานิล ระบบน้ำเขียวโดยเลี้ยงปลานิลที่อายุบ่อต่างกัน	64
33	ค่าเฉลี่ยจำนวนชนิดของแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Cryptophyta ในบ่อเลี้ยงปลานิล ระบบน้ำเขียวโดยเลี้ยงปลานิลที่อายุบ่อต่างกัน	64
34	ค่าเฉลี่ยปริมาณแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Chrysophyta ในบ่อเลี้ยงปลานิล ระบบน้ำเขียวโดยเลี้ยงปลานิลที่อายุบ่อต่างกัน	66
35	ค่าเฉลี่ยจำนวนชนิดของแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Chrysophyta ในบ่อเลี้ยงปลานิล ระบบน้ำเขียวโดยเลี้ยงปลานิลที่อายุบ่อต่างกัน	66
36	แพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Cyanophyta ที่พบในบ่อเลี้ยงปลานิล อ.พาน จ.เชียงราย ระหว่างเดือน พฤศจิกายน 2551 ถึง มิถุนายน 2552 โดยเลี้ยงปลานิลที่อายุบ่อต่างกัน	70

ภาพ		หน้า
37	แพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Chlorophyta ที่พบในบ่อเลี้ยงปลานิล อ.พาน จ.เชียงราย ระหว่างเดือน พฤศจิกายน 2551 ถึง มิถุนายน 2552	71
38	แพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Euglenophyta, Bacillariophyta, Cryptophyta และ Chrysophyta ที่พบในบ่อเลี้ยงปลานิล อ.พาน จ.เชียงราย ระหว่างเดือน พฤศจิกายน 2551 ถึง มิถุนายน 2552	72
39	ค่าเฉลี่ยปริมาณแอคติโนมัยซีส ($\times 10^4$ เซลล์/กรัมดินแห้ง) ของดินพื้นบ่อเลี้ยงปลานิลในระบบน้ำเขียวที่อายุบ่อต่างกัน	73
40	ลักษณะโคโลนีของแบคทีเรียแอคติโนมัยซีสจากดินพื้นบ่อเลี้ยงปลานิลระบบน้ำเขียวในระดับความเจือจางที่ 10^{-4}	74
41	ค่าเฉลี่ยปริมาณสารจืออสมินในดินพื้นบ่อ น้ำ และเนื้อปลา จากบ่อเลี้ยงปลานิลด้วยระบบน้ำเขียวโดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อต่างกัน	75
42	ค่าเฉลี่ยปริมาณเอ็มไอบีในดินพื้นบ่อ น้ำ และเนื้อปลา จากบ่อเลี้ยงปลานิลด้วยระบบน้ำเขียวโดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อต่างกัน	76
43	ค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่าง ในน้ำของบ่อเลี้ยงปลานิลระบบน้ำเขียวโดยเลี้ยงปลานิลในอายุบ่อต่างกัน	77
44	ค่าเฉลี่ยปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ในน้ำของบ่อเลี้ยงปลานิลระบบน้ำเขียวโดยเลี้ยงปลานิลในอายุบ่อต่างกัน	78
45	ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ ในน้ำของบ่อเลี้ยงปลานิลระบบน้ำเขียวโดยเลี้ยงปลานิลในอายุบ่อต่างกัน	79
46	ค่าเฉลี่ยความเป็นด่าง ในน้ำของบ่อเลี้ยงปลานิลระบบน้ำเขียวโดยเลี้ยงปลานิลในอายุบ่อต่างกัน	80
47	ค่าเฉลี่ยปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในน้ำของบ่อเลี้ยงปลานิลระบบน้ำเขียวโดยเลี้ยงปลานิลในอายุบ่อต่างกัน	81
48	ค่าเฉลี่ยปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ในน้ำของบ่อเลี้ยงปลานิลระบบน้ำเขียวโดยเลี้ยงปลานิลในอายุบ่อต่างกัน	82
49	ค่าเฉลี่ยปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจน ในน้ำของบ่อเลี้ยงปลานิลระบบน้ำเขียวโดยเลี้ยงปลานิลในอายุบ่อต่างกัน	83
50	ค่าเฉลี่ยปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน ในน้ำของบ่อเลี้ยงปลานิลระบบน้ำเขียวโดยเลี้ยงปลานิลในอายุบ่อต่างกัน	84

ภาพ		หน้า
51	ค่าเฉลี่ยปริมาณออร์โธฟอสเฟต ในน้ำของบ่อเลี้ยงปลานิลระบบน้ำเขียว โดยเลี้ยงปลานิลในอายุบ่อต่างกัน	85
52	ค่าเฉลี่ยปริมาณความขุ่น ในน้ำของบ่อเลี้ยงปลานิลระบบน้ำเขียวโดยเลี้ยงปลานิล ในอายุบ่อต่างกัน	86

สารบัญตารางผนวก

ตารางผนวก		หน้า
1	ระดับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไนไตรท์-ไนโตรเจน	116
2	การเตรียมสารละลาย Standard Phosphate Solution ที่ความเข้มข้น 5 mg/l PO_4-P ทำการเจือจางตามลำดับ	121

บทที่ 1
บทนำ

อุตสาหกรรมเกี่ยวกับอาหารประเภทสัตว์น้ำมีการขยายตัวมากขึ้นทั้งสัตว์น้ำจากทะเลและน้ำจืด โดยเฉพาะปลาน้ำจืดตัวหลักที่ส่งออกได้แก่ ปลานิล เป็นปลาที่เจริญเติบโตเร็ว ปรับตัวกับสภาพแวดล้อมได้ดี ทำให้เป็นที่นิยมบริโภคและเลี้ยงกันอย่างแพร่หลาย และมีความสำคัญทางเศรษฐกิจ โดยในปี พ.ศ. 2549 พบว่า ประเทศไทยมีผลผลิตปลานิลทั้งหมด 228,500 ตัน และในปี 2551 มีการส่งออกปลานิลถึง 16,733 ตัน มีแนวโน้มจะเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากเป็นปลาที่มีราคาดี โดยปัจจุบันปลานิลสามารถจัดเป็นสินค้าส่งออกไปสู่ต่างประเทศในลักษณะของปลาแล่เนื้อโดยตลาดที่สำคัญ ๆ อาทิ ประเทศญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกา อิตาลี เป็นต้น (กรมประมง, 2549) ซึ่งผลผลิตปลานิลที่ได้ส่วนใหญ่มาจากระบบการผลิตที่สำคัญ อาทิเช่น การเลี้ยงแบบบ่อ กระชัง และการเลี้ยงแบบผสมผสาน ส่วนการบริโภคปลาน้ำจืดได้รับความนิยมอย่างมากโดยเฉพาะในเขตภาคเหนือมีอัตราการบริโภคสัตว์น้ำจืดต่อคนต่อปีสูงถึง 32 กิโลกรัม (Piumsombun, 2001) และจากข้อมูลของสหกรณ์ผู้เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดจังหวัดเชียงใหม่ พบว่าความต้องการสัตว์น้ำประเภทปลาน้ำจืดในจังหวัดเชียงใหม่สูงถึง 40,000 กิโลกรัมต่อวัน (เทพรัตน์ และคณะ, 2545)

เป็นที่ยอมรับว่า อำเภอพาน จังหวัดเชียงรายเป็นแหล่งผลิตปลาที่ใหญ่ที่สุดในภาคเหนือตอนบนโดยมีผลผลิตปลาประมาณ 17.71 ตัน/วัน ผลผลิตปลาที่เข้าสู่ตลาดมีทั้งใช้อาหารเม็ดอย่างเดียวและส่วนหนึ่งมาจากการเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน (integrated culture system) ซึ่งเป็นการเลี้ยงปลาร่วมกับสัตว์บก เช่น การเลี้ยงปลาร่วมกับไก่ หรือการเลี้ยงปลาร่วมกับสุกร โดยการเลี้ยงแบบดังกล่าวนี้สามารถลดต้นทุนการผลิต เนื่องจากสิ่งขับถ่ายจากสัตว์เลี้ยงเหล่านี้ก่อให้เกิดอาหารธรรมชาติในบ่อเลี้ยงได้และเป็นวิธีที่เกษตรกรสามารถทำได้เอง ปลาที่นิยมนำมาเลี้ยงปลานิล ปลาทับทิม ซึ่งเป็นปลาที่สามารถใช้ประโยชน์จากอาหารธรรมชาติได้อย่างดีและเป็นที่ต้องการของตลาด แม้ระบบการเลี้ยงปลาแบบผสมผสานจะเป็นระบบที่ใช้ของเหลือจากระบบหนึ่งให้เกิดประโยชน์กับอีกระบบก็ตาม แต่ระบบดังกล่าวนี้มักประสบปัญหาการเน่าเสียของน้ำ และมีการเพิ่มจำนวนของแพลงก์ตอนพืชมากเกินไป (eutrophication) โดยแพลงก์ตอนพืชที่เจริญเติบโตมีทั้งชนิดที่เป็นประโยชน์และชนิดที่ให้โทษ โดยปริมาณของเสียที่ปล่อยลงสู่บ่อปลามากจนเกินไปประกอบด้วยสารอาหาร เช่น ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในปริมาณสูง ซึ่งปัญหานี้มักพบบ่อยครั้งในช่วงฤดูร้อน เนื่องจากเป็นช่วงที่มีการถ่ายเทน้ำน้อย และเป็นการเลี้ยงที่ใช้เวลานานประมาณ 8-12 เดือน อย่างไรก็ตามเนื่องจากเป็นระบบการผลิตปลานิลในบ่อดิน จึงทำให้ผลผลิตปลานิลมีโอกาสที่จะประสบปัญหาที่สำคัญอย่างหนึ่ง คือ การสะสมกลิ่นโคลนในเนื้อปลา ซึ่งเป็นปัญหาด้านคุณภาพ

ผลิตภัณฑ์เนื้อปลานิลส่งออกต่างประเทศ โดยมีสาเหตุจากแบคทีเรียกลุ่มแอคติโนมัยซีส และสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินบางชนิด เช่น สกุล *Anabaena* sp., *Oscillatoria* sp., *Lyngbya* sp., *Symploca* sp. และ *Phormidium* sp. ที่สามารถผลิตกลิ่นโคลนหรือกลิ่นไม่พึงประสงค์ในเนื้อปลาได้ (Tabachek and Yurkowski, 1976; Lovell and Broce, 1985; Klapper, 1991; Yamada *et al.,* 1994) สารประกอบหลักที่ก่อให้เกิดกลิ่นโคลน ได้แก่ จีออสมิน (geosmin) และเอ็มไอบี (MIB) ทำให้สัตว์น้ำไม่เป็นที่นิยมบริโภค ปัญหากลิ่นโคลนเกิดขึ้นจากปลากินสารประกอบกลิ่นโคลนเข้าไปโดยตรง หรือมีการปนเปื้อนกับสิ่งที่ปลากิน หรือผ่านเข้าสู่ตัวปลาโดยการดูดซึมในส่วนของอวัยวะต่าง ๆ (Tanchotikul, 1990) โดยสาเหตุหลักเกิดจากการบริหารจัดการบ่อเลี้ยงปลาไม่ดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบการผลิตปลาในบ่อดินทำให้เกิดการเจริญเติบโตอย่างหนาแน่นของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินโดยเฉพาะชนิดที่สร้างสารประกอบที่ทำให้เกิดกลิ่นโคลน สารประกอบกลุ่มนี้ไม่สามารถกำจัดออกได้โดยวิธีการล้างธรรมดา หรือล้างด้วยน้ำคลอรีน น้ำโอโซน หรือแม้แต่การให้ความร้อนระหว่างการแปรรูปก็ไม่สามารถทำให้กลิ่นโคลนออกไปจากเนื้อปลาได้ (วรพงษ์ และคณะ, 2545) และการควบคุมคุณภาพสัตว์น้ำก่อนจับขายเป็นไปได้ยาก การใช้สารเคมีในการควบคุมปริมาณแพลงก์ตอนพืชอาจเกิดการสะสมในตัวปลา ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำภายในบ่อเลี้ยง

จึงเห็นได้ว่าการเลี้ยงปลานิลด้วยระบบน้ำเขียวในบ่อดินมีโอกาสสะสมสารก่อให้เกิดกลิ่นโคลน ในปัจจุบันได้มีการเลี้ยงปลานิลในกระชังที่แขวนลอยในบ่อดินกันอย่างแพร่หลาย ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อเปรียบเทียบระบบการผลิตสัตว์น้ำ 2 ระบบ ได้แก่ การเลี้ยงปลานิลในกระชังและบ่อดิน เพื่อทราบระดับของกลิ่นโคลนในเนื้อปลานิลและในน้ำ เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบการผลิตปลานิลให้มีคุณภาพมากยิ่งขึ้นปลอดภัยต่อผู้บริโภค

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลของระบบการผลิต (การเลี้ยงปลานิลในกระชังและบ่อดิน) ต่อการสะสมกลิ่นโคลนในเนื้อปลานิล

2. เพื่อศึกษาผลของอายุบ่อต่อชนิดของแพลงก์ตอนพืชและแอคติโนมัยซีสที่ก่อให้เกิดกลิ่นโคลนในเนื้อปลานิลที่เลี้ยงด้วยบ่อดินระบบน้ำเขียว

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เกิดองค์ความรู้ในการพัฒนาระบบการเลี้ยงปลานิลปลอดกลิ่นโคลนและเพิ่มคุณภาพเนื้อปลานิล

2. ทราบความสัมพันธ์ระหว่างอายุบ่อ ชนิดแพลงก์ตอนพืช แอคติโนมัยซีสที่ก่อให้เกิดกลิ่นโคลนในดินพื้นบ่อ น้ำ และเนื้อปลานิลที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียว

3. เพิ่มมูลค่าของปลานิลที่ปลอดกลิ่นโคลนของสินค้าส่งออก

4. ผลผลิตปลานิลที่มีคุณภาพ เป็นที่ยอมรับ และช่วยให้ผู้บริโภคหันมาบริโภคปลานิลที่ผลิตจากฟาร์มผสมผสานมากขึ้น

ขอบเขตการวิจัย

ศึกษาการสะสมกลิ่นโคลนในระบบการเลี้ยง ได้แก่ การเลี้ยงปลานิลด้วยระบบน้ำเขียวหรือการเลี้ยงปลาร่วมกับสัตว์บก และการเลี้ยงปลานิลในกระชังในบ่อดิน ปัจจุบันผลผลิตปลานิลโดยส่วนใหญ่ในเขตภาคเหนือตอนบนได้มาจากการเลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียวโดยมีคอกสัตว์ติดตั้งบนบ่อเลี้ยงปลานิลเพื่อสร้างเป็นอาหารธรรมชาติ เนื่องจากปลานิลเป็นสัตว์ที่ใช้ประโยชน์จากอาหารธรรมชาติได้ดี จึงมักประสบปัญหากลิ่นโคลนซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการเพิ่มมูลค่าของสินค้าปลานิลส่งออกสู่ตลาดต่างประเทศ ดังนั้นการศึกษาระบบการผลิตสัตว์น้ำจึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งเพื่อพัฒนาระบบการเลี้ยงปลานิลอย่างถูกต้อง โดยคำนึงถึงความปลอดภัยของผู้บริโภค

บทที่ 2
การตรวจเอกสาร

การเลี้ยงปลานิล

ปลานิลเป็นปลาน้ำจืดที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจนับตั้งแต่ปี พ.ศ. 2508 เป็นต้นมา แนวโน้มการเลี้ยงปลานิลในอนาคตและการตลาดพบว่าปลานิลเป็นปลาที่ตลาดผู้บริโภคยังมีความต้องการสูงขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจากจำนวนประชากรที่มีอัตราสูงขึ้นจึงส่งผลต่อแนวโน้มการเลี้ยงปลาชนิดนี้มีลู่ทางแจ่มใส เนื่องจากเป็นปลาที่เลี้ยงง่าย ไม่มีปัญหาเรื่องโรคดังเช่นสัตว์น้ำชนิดอื่นประสบ ตลาดของปลานิลส่วนใหญ่ยังคงใช้บริโภคภายในประเทศเป็นหลัก อย่างไรก็ตามในปัจจุบันหรือในอนาคต เริ่มมีการส่งปลานิลเป็นสินค้าออกสู่ตลาดต่างประเทศในรูปปลาแล่แช่แข็ง ขนาดที่ตลาดต้องการมีน้ำหนักประมาณ 2-3 ตัว/กิโลกรัม ตลาดที่สำคัญ ได้แก่ ญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกา อิตาลี เป็นต้น (พายัพ, 2542) นอกจากนี้ยังมีการนำปลานิลมาใช้ประโยชน์รูปแบบอื่น ๆ เช่น การผลิตซูริมิ (Onibala *et al*., 1997) การทำโปรตีนไฮโดรไลเสท (Yu and Tan, 1992) และใช้เป็นแหล่งของโปรตีนในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น บะหมี่ปลา แครกเกอร์ (Yu, 1988)

ประเทศไทยถือได้ว่ามีการผลิตปลาน้ำจืดที่สูง โดยปริมาณสัตว์น้ำจืดที่ได้จากการเพาะเลี้ยง ในปี พ.ศ. 2545 มีปริมาณรวมเท่ากับ 294,000 ตัน โดยปลานิลถือว่าเป็นสัตว์น้ำที่มีการเพาะเลี้ยงรองจากการเลี้ยงปลาดุก ซึ่งมีปริมาณสูงถึง 83,780 ตัน และปริมาณการเพาะเลี้ยงปลาดุกมีค่าเท่ากับ 86,475 ตัน ส่วนมูลค่าปลานิลที่ได้จากการเพาะเลี้ยงและการจับในธรรมชาติในปี พ.ศ. 2545 มีค่าสูงถึง 2,688 ล้านบาท ซึ่งผลผลิตปลานิลในปี พ.ศ. 2545 ที่จะมีการเลี้ยงในประเภทการเลี้ยงแบบ บ่อ นา ร่องสวน และกระชัง มีปริมาณรวม 83,780 ตัน โดยผลผลิตปลานิลส่วนใหญ่ได้จากการเลี้ยงแบบบ่อมีปริมาณเท่ากับ 77,448 ตัน ส่วนการเลี้ยงใน นา ร่องสวน และกระชัง มีปริมาณเท่ากับ 2,577 1,924 และ 1,831 ตันตามลำดับ (กรมประมง, 2547)

ปลานิลเป็นปลาที่ประชาชนนิยมเลี้ยงกันมากชนิดหนึ่งทั้งในรูปแบบการค้าและเลี้ยงไว้บริโภคในครัวเรือน ทั้งนี้เนื่องจากปลานิลเป็นปลาที่เลี้ยงง่าย กินอาหารได้แทบทุกชนิด เนื้อมีรสชาติดี ตลาดมีความต้องการสูง การเลี้ยงปลาชนิดนี้เพื่อผลิตจำหน่ายจึงมีความจำเป็นที่จะต้องพิจารณาช่วยลดต้นทุนการผลิตให้มากที่สุดในเรื่องอาหารปลาที่จะนำไปใช้เลี้ยง กล่าวคือต้องเป็นอาหารที่หาได้ง่าย ราคาต่ำ นอกจากนั้นการเลี้ยงปลาชนิดนี้มีความจำเป็นในด้านการจัดการฟาร์มที่เหมาะสมเพราะปลานิลเป็นปลาที่ออกลูกดกถ้าปลาในบ่อมีความหนาแน่นมากก็จะไม่เจริญเติบโต ดังนั้นการเลี้ยงที่จะให้ได้ผลดีเป็นที่พอใจจำเป็นต้องปฏิบัติให้ถูกต้องตามหลักวิชาการ(กรมประมง, 2546)

ระบบการผลิตปลานิล

1. การเลี้ยงปลานิลในบ่อดิน

บ่อที่เลี้ยงปลานิลควรเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าเพื่อสะดวกในการจับ เนื้อที่ตั้งแต่ 200 ตารางเมตรขึ้นไป อาหารที่ให้ใช้เศษอาหารจากโรงครัว ปุ๋ยคอก อาหารสมทบอื่น ๆ ที่หาได้ง่าย เช่น แหนเป็ด สาหร่าย เศษพืชผักต่าง ๆ ปริมาณปลาที่ผลิตได้ก็เพียงพอสำหรับบริโภคในครอบครัว ปัจจุบันการเลี้ยงปลานิลในบ่อดินแบ่งได้ 4 ประเภท ตามลักษณะของการเลี้ยงดังนี้

1.1 การเลี้ยงปลานิลแบบเดี่ยว โดยปล่อยลูกปลาขนาดเท่ากันลงเลี้ยงพร้อมกันใช้เวลาเลี้ยง 6-12 เดือนแล้ววิดจับหมดทั้งบ่อ

1.2 การเลี้ยงปลานิลหลายรุ่นในบ่อเดียวกัน โดยใช้อวนจับปลาใหญ่คัดเฉพาะขนาดปลาที่ตลาดต้องการจำหน่ายและปล่อยให้ปลาขนาดเล็กเจริญเติบโตต่อไป

1.3 การเลี้ยงปลานิลร่วมกับปลาชนิดอื่น เช่น ปลาสวาย ปลาตะเพียน ปลาจีน ฯลฯ เพื่อใช้ประโยชน์จากอาหาร หรือเลี้ยงร่วมกับปลากินเนื้อเพื่อกำจัดลูกปลาที่ไม่ต้องการขณะเดียวกันจะได้ปลากินเนื้อเป็นผลพลอยได้ เช่น การเลี้ยงปลานิลร่วมกับปลากราย และการเลี้ยงปลานิลร่วมกับปลาช่อน เป็นต้น

1.4 การเลี้ยงปลานิลแบบแยกเพศโดยวิธีแยกเพศปลาหรือเปลี่ยนเป็นเพศเดียวกันเพื่อป้องกันการแพร่พันธุ์ในบ่อส่วนมากนิยมเลี้ยงเฉพาะปลาเพศผู้ซึ่งมีการเจริญเติบโตเร็วกว่าเพศเมีย (กรมประมง, 2546)

ขั้นตอนการเลี้ยงปลานิลในบ่อ

1. กำจัดวัชพืชและพรรณไม้ต่าง ๆ เช่น กก หญ้า ผักตบชวา โดยนำมาใช้เป็นปุ๋ยหมัก ถ้าในบ่อมีเลนมากจะต้องสาดเลนขึ้นโดยนำไปเสริมคันดินที่ชำรุดหรือใช้เป็นปุ๋ยแก่พืชผัก ผลไม้บริเวณใกล้เคียง

2. กำจัดศัตรูลูกปลานิล เช่น ปลาช่อน ปลาชะโด ปลาหมอ ปลาดุก กบ งู เขียด เป็นต้น ดังนั้นก่อนที่จะปล่อยปลานิลลงเลี้ยงจึงจำเป็นต้องกำจัดศัตรูก่อนโดยวิธีระบายน้ำออกให้เหลือน้อยที่สุด โดยใช้โล่ติ๊นสดหรือแห้งประมาณ 1 กิโลกรัม/ปริมาณน้ำในบ่อ 100 ลูกบาศก์เมตร ควรทิ้งระยะไว้ประมาณ 7 วัน เพื่อให้ฤทธิ์ของโล่ติ๊นสลายตัวให้หมด จึงปล่อยปลาลงเลี้ยง

3. การใส่ปุ๋ย ปกติปลานิลจะกินอาหารจำพวกแพลงก์ตอนพืชและเศษวัสดุเน่าเปื่อยตามพื้นบ่อ แหน สาหร่าย ดังนั้นในบ่อเลี้ยงปลาควรให้อาหารธรรมชาติดังกล่าวเกิดขึ้นเสมอจึง

จำเป็นต้องใส่ปุ๋ยลงไปละลายเป็นธาตุอาหารแก่แพลงก์ตอนพืช ปุ๋ยที่ใช้ ได้แก่ มูลวัว ควาย หมู เป็ด ไก่

4. อัตราปล่อยปลา ลูกปลาขนาด 3-5 เซนติเมตร ลงเลี้ยงในอัตรา 1-3 ตัว/ตารางเมตร หรือ 2,000-5,000 ตัว/ไร่ อัตราการปล่อยปลาที่เลี้ยงในบ่อดินขึ้นอยู่กับคุณภาพน้ำ อาหารและการจัดการการให้อาหาร ปริมาณที่ให้ไม่ควรเกิน 4 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักปลาที่เลี้ยงหรือใช้วิธีสังเกตการกินอาหารจากจุดที่ให้เป็นประจำ ถ้ายังมีปลานิลออกมาออกันมากเพื่อรอกินอาหารก็เพิ่มจำนวนอาหารมากขึ้นตามลำดับทุก 1-2 สัปดาห์ ข้อควรระวัง หากปลากินอาหารไม่หมดอาหารที่เหลือจะทำให้น้ำเน่าเสียเป็นอันตรายต่อปลาที่เลี้ยงและสิ้นเปลือง (กรมประมง, 2546)

2. การเลี้ยงปลานิลในกระชัง

ปลาที่นิยมในการเพาะเลี้ยงในเขตน้ำอบอุ่นที่สำคัญของโลกได้แก่ ปลานิล Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) มีการเจริญเติบโตมาอย่างต่อเนื่อง (FAO, 1980) และเป็นปลาที่มีความสำคัญมากที่สุด คุณลักษณะที่ทำให้ปลานิลมีความเหมาะสมในการทำฟาร์มปลาคือ เป็นปลาที่มีความอดทนและสะดวกต่อการเพาะเลี้ยง สายพันธุ์ การเพาะพันธุ์ และมีอัตราการเจริญเติบโตรวดเร็ว มีความสามารถในการเปลี่ยนของเสียจากบ้านเรือนให้เป็นโปรตีนที่มีคุณภาพดี และมีรสชาดดี (Stickey *et al*., 1979; Balarin and Haller, 1982; Pullin and Lowe-McConnell, 1982) การเพาะเลี้ยงปลานิลเริ่มต้นมากจากในสามเหลี่ยมแม่น้ำแยงซี (Yangtze) ในประเทศจีนเมื่อ 750 ปีที่แล้ว (Hu, 1994) และทางตอนใต้ของเอเชียมีการเลี้ยงปลานิลมาอย่างยาวนาน (Ling, 1977) ปัจจุบันการเลี้ยงปลานิลในกระชังมีการพัฒนาไปสู่การเลี้ยงแบบหนาแน่นเน้นทางธุรกิจการค้าซึ่งเป็นชนิดที่สำคัญของโลก (Cache, 1982) ในราว ๆ 1970 ใน United States มีการเลี้ยงปลานิลสกุล *Oreochromis aureus* (Pangan, 1969; Armbrester, 1972; Suwanasart, 1972) และปัจจุบันมีการเลี้ยงปลานิลอย่างกว้างขวางในพื้นที่อื่น ๆ ทั่วโลก (Cache, 1982)

การเพาะเลี้ยงปลาที่ดีที่สุดคือการเลี้ยงในกระชัง ได้แก่ ในแม่น้ำ ในทะเลสาบ และในทะเล (Beveridge, 1984) การเลี้ยงปลาในกระชังจะให้อาหารที่มีปริมาณโปรตีนสูง และในอีกทางหนึ่งในทางตรงและทางอ้อมจากการปล่อยน้ำลงสู่สิ่งแวดล้อมเป็นการเร่งให้เกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชั่น (eutrophication) (Beveridge, 1984; Ackefors, 1986) พื้นฐานความคิดและการปฏิบัติในการทำฟาร์มปลาและการเก็บสต๊อคปลาในระบบผสมผสาน โดยพัฒนาการเลี้ยงในบ่อดินแบบหนาแน่นและกึ่งหนาแน่น และทำการเลี้ยงปลานิลร่วมกับปลาแคทฟิช (catfish) (Lin, 1990) และเลี้ยงปลานิลอย่างเดียว (McGinty, 1991) ซึ่งปลาเป็นแหล่งทรัพยากรที่มีค่ารวมถึงระบบการนำน้ำที่ใช้แล้วจากกระชังมาเลี้ยงปลานิลเป็นแหล่งกำเนิดอาหารสำหรับปลาที่มีลักษณะการกินอาหารแบบ

กรองกินได้แก่ ปลานิล Nile tilapia ในบางประเทศ เช่น ประเทศไทย ปลานิลที่มีขนาดตัวมากกว่า 500 กรัม จะขายได้ในราคาสูงมากกว่าปลาที่มีขนาด 250-300 กรัม เป็นขนาดปกติในระบบการผลิตปลานิลในบ่อที่มีการให้ปุ๋ยเพื่อสร้างเป็นอาหารธรรมชาติในบ่อเลี้ยงการเลี้ยงปลานิลในกระชังแบบหนาแน่นภายในบ่อดินมีประสิทธิภาพในการผลิตปลาที่มีขนาดใหญ่ขณะที่การเลี้ยงแบบกึ่งหนาแน่นในบ่อดินปลาจะมีขนาดเล็กกว่า (McGinty, 1991)

ระบบการผลิตปลานิลในประเทศไทยเป็นแบบกึ่งหนาแน่นโดยมีการเติมปุ๋ยอินทรีย์และอนินทรีย์ลงไปในบ่อดิน ในทางตอนใต้ของเอเชียนิยมเลี้ยงปลานิลในกระชัง ได้แก่ ในทะเลสาบ อ่างเก็บน้ำและแม่น้ำ (Lin and Kaewpaitoon, 2000) สาเหตุของการเพาะเลี้ยงปลาในกระชังแบบหนานแน่นมาจากอาหารปลาที่เหลือในบ่อเลี้ยง ปริมาณธาตุอาหารที่ละลายในสิ่งแวดล้อมเหล่านี้เป็นมลภาวะอย่างหนึ่ง (Beveridge, 1984; Ackefors, 1986; Lin *et al.*, 1989) อีกทางหนึ่งน้ำเสียจากการเลี้ยงปลาในกระชังสามารถนำมาใช้ประโยชน์เป็นอาหารธรรมชาติสำหรับปลาที่มีนิสัยการกินอาหารแบบกรองกินรวมถึงปลานิลที่เลี้ยงในระบบผสมผสาน (Lin *et al.*, 1989; Lin, 1990; McGinty, 1991; Yi *et al.*, 1996)

บริเวณที่จะทำการเลี้ยงปลาในกระชังจะต้องมีคุณภาพสิ่งแวดล้อมอยู่ในเกณฑ์ดี เนื่องจากการเลี้ยงปลาในกระชังเป็นการเลี้ยงแบบพัฒนา (intensive) เน้นการจัดการเลี้ยงโดยใช้อาหารเป็นหลัก คุณภาพน้ำจึงเป็นเรื่องสำคัญสำหรับการเลี้ยงปลา การเลี้ยงปลาในกระชังสามารถทำได้ทั้งในบ่อขนาดใหญ่ที่ไม่สามารถถ่ายน้ำได้หรืออ่างเก็บน้ำ แม่น้ำ ลำคลอง หลักในการพิจารณาทำเลที่เหมาะสมคือ การถ่ายเทของกระแสน้ำ ความลึกของแหล่งน้ำ ห่างไกลจากสิ่งรบกวน กระชังที่ใช้เลี้ยงปลานิลมีรูปทรงต่าง ๆ เช่น สี่เหลี่ยมจัตุรัส สี่เหลี่ยมผืนผ้า และทรงกลม เป็นต้นรูปร่างของกระชังจะมีผลต่อการไหลผ่านของกระแสน้ำที่ถ่ายเทเข้าไปในกระชังเมื่อเปรียบเทียบปริมาณที่เท่ากัน กระชังรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสจะมีพื้นที่ผิวที่ให้กระแสน้ำไหลผ่านได้มากกว่ากระชังรูปแบบอื่น ๆ ขนาดกระชังที่ใช้เลี้ยงมีความแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับความต้องการของเกษตรกร ขนาดของกระชังที่นิยมสร้างคือกระชังสี่เหลี่ยม ขนาด 1.2×1.2×2.5 หรือ 2×2×2.5 เมตร และกระชังสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาด 4×2×2.5 เมตร ต้นทุนต่อปริมาตรจะลดลงเมื่อขนาดของกระชังใหญ่ขึ้นแต่ผลผลิตต่อปริมาตรจะลดลง เนื่องจากกระชังขนาดใหญ่กระแสน้ำจะไม่สามารถหมุนเวียนได้ทั่วถึง ความลึกของกระชังส่วนใหญ่จะมีความลึก 2.5 เมตร เมื่อลอยกระชังจะให้กระชังจมอยู่ในน้ำเพียง 2.2 เมตร โดยมีส่วนที่โผล่พ้นน้ำประมาณ 20-25 เซนติเมตร ความลึกของกระชังมีผลต่อการเติบโตของปลาเช่นกัน ปกติระดับออกซิเจนที่ละลายในน้ำจะสูงบริเวณผิวน้ำที่ระดับความลึกประมาณ 2 เมตร ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำพียง 50-70% ของปริมาณออกซิเจนที่ผิวน้ำเท่านั้น ดังนั้นการสร้างกระชังไม่ควรให้ลึกเกินไป เนื่องจากปลาจะหนีลงไปอยู่ใน

ส่วนที่ลึกซึ่งมีปริมาณออกซิเจนต่ำและจะส่งผลให้ปลากินอาหารน้อยมีอัตราการเจริญเติบโตต่ำ ขนาดตาอวนที่ใช้ทำกระชังจะต้องเหมาะสมกับขนาดปลาที่เลี้ยง เพื่อป้องกันไม่ให้ปลาหนีลอดไปได้ อีกทั้งจะต้องให้กระแสน้ำไหลผ่านได้สะดวกและป้องกันไม่ให้ปลาขนาดเล็กภายนอกเข้ามารบกวนและแย่งอาหารปลาในกระชัง ขนาดตาอวนที่ใช้ไม่ควรมีขนาดเล็กกว่า 1.5×1.5 ซม. เพื่อไม่ให้ขัดขวางการหมุนเวียนของน้ำผ่านกระชัง กระชังควรมีฝาปิดซึ่งอาจทำจากเนื้ออวนชนิดเดียวกับที่ใช้กระชังหรือวัสดุที่เหมาะสม เพื่อป้องกันไม่ให้นกมากินปลาที่เลี้ยงหนีออกและปลาจากภายนอกกระโดดเข้ากระชัง รวมทั้งป้องกันไม่ให้นกมากินปลาที่เลี้ยง อัตราการปล่อยปลาขึ้นอยู่กับขนาดปลาที่ตลาดต้องการ ถ้าต้องการปลาขนาดใหญ่ ควรปล่อยปลาลงเลี้ยงในอัตราความหนาแน่นต่ำหรือย่นระยะเวลาเลี้ยงให้นานขึ้น ในทางตรงกันข้ามหากตลาดมีความต้องการปลาขนาดเล็ก ผู้เลี้ยงสามารถปล่อยปลาในอัตราสูงหรือย่นระยะเวลาเลี้ยงให้สั้นลงโดยการปล่อยปลาลงเลี้ยงในอัตราไม่หนาแน่นนักและใช้ปลาที่มีขนาดใหญ่

อัตราการปล่อยปลาขึ้นอยู่กับขนาดของกระชังโดยที่กระชังขนาดเล็กสามารถปล่อยได้ในอัตราค่อนข้างหนาแน่นในขณะที่กระชังขนาดใหญ่มากอัตราการปล่อยลงเลี้ยงอาจลดลง 6-8 เท่า เช่น กระชังขนาด 1-4 ลบ.ม. ปล่อยปลานิลแปลงเพศในอัตรา 300-400 ตัว/ลบ.ม. สามารถผลิตปลาให้ได้ขนาดปริมาณ 400-500 กรัม และหากปล่อยในอัตรา 200-250 ตัว/ลบ.ม. จะผลิตปลาได้ขนาดประมาณ 700 กรัม ในขณะที่กระชังขนาด 100 ลบ.ม. ปล่อยปลาในอัตรา 50 ตัว/ลบ.ม. จะสามารถผลิตปลาได้ขนาดเฉลี่ยเพียง 400-500 กรัม เท่านั้น สำหรับขนาดปลาหากเลี้ยงปลาขนาด 5-10 กรัม ให้ได้ขนาด 250-300 กรัม ต้องใช้เวลา 6-8 เดือน แต่หากต้องการปลาที่มีขนาดใหญ่ จำเป็นต้องปล่อยลูกปลาใหญ่ขึ้นหรือแบ่งการเลี้ยงออกเป็นช่วงการเลี้ยงปลาในกระชังเป็นรูปแบบการเลี้ยงปลาแบบพัฒนา (intensive) หรือกึ่งพัฒนา (semi-intensive) คือเน้นการให้อาหารเพื่อเร่งผลผลิตและการเจริญเติบโต จึงควรจะใช้อาหารที่มีคุณค่าทางโปรตีนค่อนข้างสูง (กรมประมง, 2546) ส่วน Yi and Lin (2001) พบว่าอัตราการปล่อยปลานิลในกระชังขนาด 4 ลบ.ม. จำนวน 50 ตัว/ตร.ม. จะเจริญเติบโตได้ดีที่สุด

3. การเลี้ยงปลานิลแบบผสมผสาน

การเลี้ยงปลานิลแบบผสมผสาน เป็นระบบการเกษตรที่ใช้ประโยชน์จากของเหลือระบบหนึ่งแล้วก่อให้เกิดประโยชน์อีกระบบ เป็นระบบการเลี้ยงปลาที่นิยมปฏิบัติกันทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ เช่น จีน ไต้หวัน ฮ่องกง ญี่ปุ่น ฮังการี เนื่องจากเป็นระบบการผลิตสัตว์น้ำ และสัตว์บกที่เอื้ออำนวยประโยชน์ให้แก่กันและกันเป็นอย่างดี ซึ่งเป็นระบบการผลิตทางการเกษตรที่มีประสิทธิภาพสูงมากระบบหนึ่ง ข้อดีคือเศษเหลือจากสัตว์บกสามารถนำกลับมาใช้ได้อีก เช่น มูล

สัตว์ ซึ่งจะกลายเป็นอาหารปลา และเป็นปุ๋ยสำหรับบ่อปลา ทำให้ลดค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ได้ เช่น ค่าอาหารปลา ค่าอาหารสัตว์ ค่าปุ๋ย (ปกรณ์ และคณะ, 2541) ส่วนการเลือกสัตว์ที่จะนำมาเลี้ยงในระบบการผสมผสานร่วมกับปลานั้นจำเป็นต้องมีคอกเพื่อใช้เลี้ยงสัตว์ และคอกสัตว์ต้องมีความสัมพันธ์กับการเลี้ยงปลาด้วย เช่น การเลี้ยงปลานิลร่วมกับไก่ โดยปล่อยปลานิลขนาดความยาว 3-4 นิ้วในอัตรา 10,000 ตัว/ไร่ เลี้ยงในบ่อขนาดพื้นที่ 3 ไร่ เลี้ยงไก่ตอน 2 รุ่น ๆ ละ 1,000 ตัว แต่ละรุ่นใช้เวลาเลี้ยง 90 วัน โดยสร้างคอกไก่คร่อมบนบ่อปลาเลี้ยงปลาเป็นระยะเวลา 8 เดือน ได้ผลผลิต 1,166.7 กิโลกรัม/ไร่ (จิตต์ และสมโภชน์, 2525)

การใช้มูลสัตว์ และปุ๋ยในบ่อเป็นอาหารเป็นการใช้ประโยชน์แบบผสมผสานระหว่างการเลี้ยงปลากับการเลี้ยงสัตว์อื่น ๆ โดยเศษอาหารที่เหลือจากการย่อยหรือตกหล่นจากที่ให้อาหารของปลาโดยตรงในขณะที่มูลของสัตว์จะเป็นปุ๋ย และให้แร่ธาตุสารอาหารแก่พืชน้ำซึ่งเป็นอาหารของปลาซึ่งจะลดต้นทุนค่าใช้จ่าย และแก้ปัญหามลภาวะได้ การใส่ปุ๋ยเป็นการให้อาหารแก่ปลานิลที่สำคัญมากวิธีหนึ่งจะได้อาหารธรรมชาติที่มีโปรตีนสูงและราคาถูก แต่เพื่อเป็นการเร่งให้ปลานิลที่เลี้ยงเจริญเติบโตเร็วขึ้นหรือถูกต้องตามหลักวิชาการจึงควรให้อาหารจำพวกคาร์โบไฮเดรตเป็นอาหารสมทบ เช่น รำ ปลายข้าว (ปกรณ์ และคณะ, 2541)

วิธีการเลี้ยงปลาร่วมกับสัตว์บกอาจใช้วิธีการสร้างคอกสัตว์บนบ่อปลาเพื่อไม่ให้มูลสัตว์ไหลลงบ่อปลาโดยตรงหรือสร้างคอกสัตว์ไว้บนคันบ่อปลาแล้วนำมูลสัตว์ใส่ลงบ่อปลาในอัตราที่เหมาะสม ในประเทศไทยนิยมเลี้ยงสุกร จำนวน 10 ตัว หรือ เป็ด ไก่ไข่ จำนวน 200 ตัวต่อบ่อปลาพื้นที่น้ำ 1 ไร่ อัตราส่วนการใส่ปุ๋ยคอก ในระยะแรกควรใส่ประมาณ 250-300 กก./ไร่/เดือน ส่วนในระยะหลังควรลดลงเพียงครึ่งหนึ่ง หรือสังเกตสีของน้ำในบ่อ หรือปุ๋ยวิทยาศาสตร์สูตร 15:15:15 ประมาณ 5 กก./ไร่/เดือน วิธีใส่ปุ๋ยหากเป็นปุ๋ยคอกควรตากให้แห้งเสียก่อนเพราะปุ๋ยสดจะทำให้มีก๊าซจำพวกแอมโมเนียละลายอยู่ในน้ำมากเป็นอันตรายต่อปลา การใส่ปุ๋ยคอกใช้วิธีหว่านลงไปในบ่อโดยละลายน้ำให้ทั่วก่อนส่วนปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยสดควรกองสุมไว้ตามมุมบ่อ 2-3 แห่ง โดยมีไม้ปักล้อมเป็นคอกรอบกองปุ๋ยเพื่อป้องกันไม่ให้ส่วนที่ยังไม่สลายตัวกระจัดกระจาย (ปกรณ์ และคณะ, 2541) ปุ๋ยอินทรีย์ เช่น มูลสัตว์ อาจใช้เป็นแหล่งอาหารโดยตรงของปลาและของสัตว์น้ำที่เป็นแหล่งอาหารของปลา การย่อยสลายของปุ๋ยอินทรีย์ทำให้เกิดธาตุอาหารหลักซึ่งใช้เลี้ยงแพลงก์ตอนพืชได้ และปลาสามารถใช้แพลงก์ตอนพืชเป็นอาหารเพื่อการเจริญเติบโตได้ จากการทดลองพบว่ามูลไก่สามารถใช้เลี้ยงแพลงก์ตอนพืชได้ดีกว่ามูลสัตว์อื่น ๆ รวมทั้งปุ๋ยเคมี การเติมมูลสัตว์ให้กับบ่อเลี้ยงปลามักทำให้น้ำมีสีชาหากเติมมูลสัตว์มากเกินไปน้ำอาจเน่าเสียและทำให้ระดับออกซิเจนที่ละลายในน้ำต่ำเกินไปสำหรับการเจริญเติบโตของปลาดังนั้นจึงไม่ควรเติมมูลสัตว์มากกว่า 88 กก./เฮกตาร์/วัน (กรัม/ตารางเมตร/วัน) ให้กับบ่อเลี้ยงปลา (มั่นสิน, 2539)

การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ

แหล่งปุ๋ยอินทรีย์มีหลายชนิด เช่น หญ้า มูลสัตว์ ใบไม้ น้ำเสียจากแหล่งต่าง ๆ เมล็ดพืช ฟางแห้ง เป็นต้น ในจำนวนแหล่งปุ๋ยอินทรีย์ต่าง ๆ มูลสัตว์จัดเป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่ดีที่สุดแต่เมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์จะมีเปอร์เซ็นต์ของสารอาหารหลักอยู่ต่ำกว่ามาก ยกตัวอย่างเช่น มูลของโคนม 36 กิโลกรัม มีไนโตรเจนมากเท่ากับไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (18-26-0) 1 กิโลกรัม หรือมูลโคนม 230 กิโลกรัม มีฟอสฟอรัสมากเท่ากับไดแอมโมเนียมฟอสเฟต 1 กิโลกรัม (มั่นสิน, 2539) ส่วนประกอบของสารอาหารหลัก และความชื้นในมูลสัตว์สดต่าง ๆ (ตาราง 1)

ตาราง 1 ปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยคอกชนิดต่าง ๆ

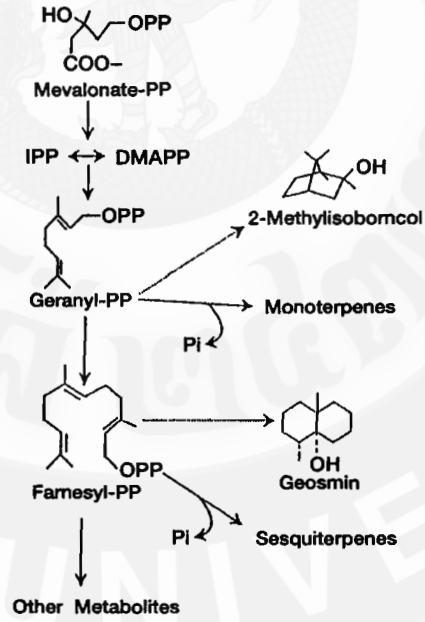
ธาตุอาหาร	ความเป็นกรด-ด่าง	ไนโตรเจน (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	โพแทสเซียม (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)
มูลวัว ควาย	7.8	1.10	0.40	1.60
มูลไก่	7.6	1.26	0.69	1.66
มูลเป็ด	7.5	1.04	1.84	2.11
มูลสุกร	6.9	2.70	2.40	1.00
มูลค้างคาว	6.3	1.54	14.28	0.60

ที่มา: มุกดา (2543)

กลิ่นโคลนหรือกลิ่นไม่พึงประสงค์

กลิ่นโคลน (off-flavor) พบในสัตว์น้ำที่สำคัญได้จากการเพาะเลี้ยง คือกลิ่นโคลน (musty/earthy odor; off-flavor) ส่งผลกระทบต่อการนำเข้าสัตว์น้ำและอุตสาหกรรมทางด้านประมงอย่างมาก เนื่องจากกลิ่นโคลนเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ผู้บริโภคสัตว์น้ำไม่ยอมรับ (Persson, 1982) โดยสัตว์น้ำที่พบปัญหาดังกล่าว ได้แก่ ปลากดอเมริกัน (Martin *et al.*, 1990) ปลาแซลมอล (Farmer *et al.*, 1995) ปลาเรนโบว์เทร้าท์ (Yurkowski and Tabachek, 1974; Form and Horlyck, 1984) ปลาเฮอร์ริ่ง (herring) และปลาคาร์พ (carp) (Yurkowski and Tabachek, 1980) หอยกาบ (Tanchotikul and Hsieh, 1990) กุ้ง (Lovell and Broce, 1985) กลิ่นโคลนเกิดจากสารที่จำเพาะเจาะจงหลายชนิด ทำให้เกิดกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์ในสัตว์น้ำ แต่สารที่เป็นตัวหลักที่ก่อให้เกิดกลิ่นโคลนมี 2 ชนิด คือ จีออสมิน (1α, 10 β-dimethyl-9 α-decalol: geosmin) และเอ็มไอบี (2-methylisoborneol :

MIB) เป็นสารประกอบแอลกอฮอล์อิ่มตัว (saturated cyclic tertiary alcohol) ที่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน และแบคทีเรียบางชนิดสังเคราะห์ขึ้นในวิถีเทอร์ปีน (terpene pathway) สารประกอบจีออสมินสร้างขึ้นจากสารประกอบฟานิซิล-ไพโรฟอสเฟต (farnesyl-PP) และสารประกอบเอ็มไอบีสร้างขึ้นจากสารประกอบเจอรานิล-ไพโรฟอสเฟต (geranyl-PP) (ภาพ 1) จีออสมินเป็นสาร secondary product จากปฏิกิริยาเมตาบอลิซึมที่เกิดขึ้นจากการสังเคราะห์ทางชีวภาพในไอโซพรีนอยด์ พาทเวย์ (isoprenoid pathway) ในสิ่งมีชีวิตกลุ่มสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน โดยสารจีออสมินเกิดจากการสังเคราะห์ทางชีวภาพในคาโรทีนอยด์ พาทเวย์ (carotenoid pathway) และขั้นตอนการเกิดโฟโตเทียล (phototial) ของคลอโรฟิลล์ เอ (chlorophyll a) ดังนั้นจีออสมินจึงเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ เอ ด้วยเหตุนี้ เมื่ออยู่ภายใต้สภาวะการเจริญเติบโตที่จำกัด สารจีออสมินจึงถูกสะสมเพิ่มขึ้นแต่ก็พบว่าสัดส่วนของจีออสมินกับคลอโรฟิลล์ เอ มีความไม่แน่นอน ส่วนสารประกอบเอ็มไอบีถูกสังเคราะห์โดยไอโซพรีนอยด์ พาทเวย์ เช่นเดียวกับจีออสมินในสิ่งมีชีวิตกลุ่ม *Actinomycetes* spp. และสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (Van Der Ploeg, 1989)



ภาพ 1 การสังเคราะห์สารให้กลิ่นโคลน (จีออสมินและเอ็มไอบี) ในวิถีเทอร์ปีน

IPP = isopentenyl pyrophosphate

DMAPP = dimethylallyl pyrophosphate

Pi = inorganic phosphate

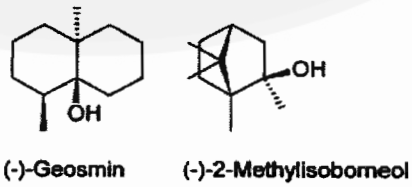
ที่มา: Johnsen and Dionigi (1994)

สารประกอบจีออสมิน (trans-1, 10,-dimethyl-trans-9-decalol) ($C_{12}H_{20}O$) และสารประกอบเอ็มไอบี (2-methylisoborneol) หรือ 1,2,7,7-tetramethyl bucyclo-[2,2,1]-heptan-2-1 heptan-2-ol ($C_{11}H_{20}O$) เป็นสารประกอบพวกแอลกอฮอล์อิ่มตัวที่ระเหยได้ มีลักษณะทางเคมีและฟิสิกส์ (ตาราง 2) โครงสร้างประกอบด้วยหมู่เมทิลและหมู่ไฮดรอกซิล (Izaguirre *et al.*, 1982) (ภาพ 2) สารประกอบทั้งสองชนิดมีคุณสมบัติทั่วไปคือละลายในไขมันได้ดีโดยกระจายตัวและสะสมในเนื้อเยื่อที่มีส่วนประกอบของไขมันสูงเมื่อเกิดการสะสมในร่างกายจะกำจัดออกได้ยากจึงก่อให้เกิดกลิ่นโคลน (Johnsen *et al.*, 1996) แต่อย่างไรก็ตามสารประกอบทั้งสองชนิดไม่เป็นพิษต่อเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต และไม่ก่อให้เกิดการกลายพันธุ์ (Dionigi *et al.*, 1993)

ตาราง 2 ลักษณะทางเคมีและฟิสิกส์ของจีออสมินและเอ็มไอบี

พารามิเตอร์	เอ็มไอบี	จีออสมิน
Full Name	(1-R-exo)-1,2,7,7-tetramethyl bucyclo-[2,2,1]-heptan-2-1	Tran-1, 10-dimethyl -trans-9-decalol
Molecular Fomula	$C_{11}H_{20}O$	$C_{12}H_{22}O$
Molecular Weight (g/mole)	168	182
Boiling Point (^{o}C)	196.7	165.1
Aqueous Solubility (mg/L)	194.5	150.2
K_{QW}	3.13	3.7
Henry's Law Constant (atm m^3/mole)	5.76×10^{-5}	6.66×10^{-5}

ที่มา: Pei, 2003 (อ้างโดย Pirbazari *et al*, 1992)



ภาพ 2 โครงสร้างของจีออสมินและเอ็มไอบี

ที่มา: Jüttner and Watson (2007)

ปัญหากลิ่นโคลนอาจเกิดขึ้นเนื่องจากปลากินสารประกอบกลิ่นโคลนเข้าไปโดยตรง หรือมีการปนเปื้อนกับสิ่งที่ปลากินหรือผ่านเข้าสู่ตัวปลาโดยการดูดซึมในส่วนของอวัยวะต่างๆ (Tanchotikul, 1990) สัตว์น้ำสามารถดูดซึมสารเมทาบอไลท์เกิดกลิ่นโคลนผ่านเหงือกหรือเนื้อเยื่อต่าง ๆ ที่สัมผัสน้ำมากกว่าการกินสาหร่ายหรือแบคทีเรียที่ผลิตสารโดยตรง (Form and Horlyck, 1984) ไปสะสมอยู่ในร่างกายโดยเฉพาะเนื้อเยื่อที่มีไขมันสูง (Martin *et al*., 1990)

Rungreungwudhikrai (1995) พบว่าปลานิลจากบ่อเลี้ยงในภาคกลางมีความเข้มข้นของสารกลิ่นโคลนในเนื้อที่สูง เมื่อใช้อาหารสำเร็จรูปร่วมกับการใช้ปุ๋ยในบ่อโดยบ่อที่ใส่ปุ๋ยยูเรียมีผลให้ปริมาณสารกลิ่นโคลนในเนื้อสูงกว่าการใช้ปุ๋ยมูลสัตว์ ส่วนบ่อที่ให้อาหารสำเร็จรูปอย่างเดียวพบว่ามีผลให้สารกลิ่นโคลนในเนื้อปลาต่ำ

การผลิตกลิ่นโคลน

สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่สำคัญที่มีผลต่อการผลิตกลิ่นโคลนประกอบด้วยสกุล *Anabena* sp., *Oscillatoria* sp., *Lyngbya* sp., *Symploca* sp., *Phormidium* sp. (Tabachek and Yurkowski, 1976; Lovell and Broce, 1985; ชลอ, 2536) (ตาราง 3) ส่วนแบคทีเรียที่สามารถสร้างสารจีออสมินและสารเอ็มไอบีได้แก่ สกุล *Streptomyces* sp., *Nocardia* sp., *Actinomadura* sp. และ *Actinomycete* sp. สามารถสร้างกลิ่นโคลนและสารพิษตกค้างในเนื้อปลาได้ (Sivonen, 1982; Martin *et al*., 1988; Klapper, 1991; Yamada *et al*., 1994) โดยเฉพาะสกุล *Streptomycetes* sp. จะทำให้เกิดกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์มากที่สุด (Van Der Ploeg and Boyd, 1991) (ตาราง 4)

ไซยาโนแบคทีเรียกับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วเป็นส่วนหนึ่งของอาหารที่ได้จากสัตว์ (FAO, 2007) และความต้องการเพาะเลี้ยงปลาในปัจจุบันอยู่ที่ 13 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนจากสัตว์ในการบริโภคของมนุษย์ (WHO, 2007) ดังเช่นอัตราการจับของสัตว์น้ำจากการทำประมงมีการลดน้อยลงไปเรื่อย ๆ ตั้งแต่ 1970s ทำให้การทำฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีการเจริญเติบโตขึ้นอีกทั้งเป็นการชดเชยความต้องการของผู้บริโภค การเพิ่มความต้องการเหล่านี้โดยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอย่างกว้างขวาง โดยทำการเลี้ยงสัตว์น้ำเลียนแบบตามธรรมชาติ อาจทำการใส่ปุ๋ยเพื่อกระตุ้นการผลิตสัตว์น้ำ การกำจัดน้ำเสียเป็นสิ่งที่จำเป็นต่อประชากรจุลินทรีย์ (Avault, 1996) ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับออโธโทรป (Autotroph) โดยแพลงก์ตอนพืชทำการดูดซึมธาตุอาหารในรูปของไนเตรทหรือแอมโมเนีย ผลจากระบบเหล่านี้ที่มีระดับธาตุอาหารสูงทำให้เกิดการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของสาหร่าย โดยมีค่าคลอโรฟิลล์ เอ 75 ไมโครกรัมต่อลิตร และบ่อยครั้ง

สูงถึง 300-1,000 ไมโครกรัม/ลิตร (Magalhães *et al.*, 2001; Zimba and Gitelson, 2006) ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของเซลล์แพลงก์ตอนพืชสูงกว่า 1×10^6 เซลล์/มิลลิลิตร (Zimba *et al.*, 2001) กับความหนาแน่นของชนิดของแบคทีเรีย 2×10^6 เซลล์/มิลลิลิตร (Zimba and Mischke, 2005) ระบบผลิตสัตว์น้ำแบบกึ่งหนาแน่นถึงหนาแน่น โดยการเลี้ยนแบบให้มีแพลงก์ตอนพืชเกิดขึ้น ในฤดูร้อนทำให้ไซยาโนแบคทีเรียมีการเจริญเติบโตสูงสุด หากมีการเลี้ยงปลาแบบหนาแน่นทำให้ระบบมีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของไซยาโนแบคทีเรียและมีความทนทานมากขึ้น (Raymont, 1980; Payne, 1986; Cichra *et al.*, 1995)

ไซยาโนแบคทีเรีย (สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน หรือไซยาโนโพรคาริโอต) มีประโยชน์ในการแข่งขันที่หลากหลาย (เช่น การต่อต้านการแทะเล็ม การแยกธาตุอาหารและแสงที่เป็นประโยชน์) ที่เหนือกว่าคือการแยกหมวดหมู่ของยูคาริโอตซึ่งเป็นกลุ่มที่เด่นภายใต้ระบบการกินพืช ธาตุอาหารและในสภาพแสงสูงสุด (Dittmann and Wiegand, 2006) ในกลุ่มสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังสามารถเลือกและกรองกินไซยาโนแบคทีเรียจากการจำได้ เช่น เมื่อใดที่ปริมาณธาตุอาหารลดลงหรือมีความเป็นพิษและพบโคโลนีแบบเส้นสายโดยจะเข้าไปแทะเล็มเป็นอาหาร (Haney, 1987; Lampert, 1987) ไซยาโนแบคทีเรียมีความสามารถในการเก็บความอุดมสมบูรณ์ของธาตุอาหารอย่างมีประสิทธิภาพ (เช่น ฟอสฟอรัส) บางชนิดสามารถเปลี่ยนก๊าซไนโตรเจนไปเป็นแอมโมเนียโดยกระบวนการไนโตรเจนฟิเคชั่น

ไซยาโนแบคทีเรียสามารถปรับตัวในสภาพที่มีความเข้มข้นของแสงสูงและต่ำได้ ผลประโยชน์ที่ได้จากปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสงโดยเป็นศูนย์รวมจากส่วนประกอบ ไฟโคบิลิโซม (phycobilisome) โปรตีนคอมเพล็กซ์ (protein complexes) โดยสารสีที่ละลายอยู่ในน้ำ ได้แก่ ไฟโคเออริทริน (phycoerythrin) อัลโลไฟโคไซยานิน (allophycocyanin) และไฟโคไซยานิน (phycocyanin) เป็นการใช้พลังงานแสงเพิ่มขึ้นจากขบวนการสังเคราะห์แสงและการเจริญเติบโต (Goodwin and Mercer, 1983) ไซยาโนแบคทีเรียสามารถเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและจำนวนของระบบแสงในระยะเวลาอันสั้นและยาว ทำการเหนี่ยวนำยีน การสังเคราะห์โปรตีน *de novo* synthesis มีการเจริญเติบโตภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีปริมาณแสงต่ำ และหลีกเลี่ยงการทำลายในสภาพที่มีความเข้มข้นของแสงสูง Bhyra *et al.*, 2000 (อ้างโดย Kirilovsky, 2007) เป็นที่รู้จักกันดีว่าไซยาโนแบคทีเรียเป็น secondary metabolites ที่สามารถผลิตความหลากหลายจำนวนมาก ส่วนประกอบนั้นไม่จำเป็นสำหรับเมทาบอลิซึม primary cell (Vining, 1992) สรุปได้ว่าไซยาโนแบคทีเรียเป็นชนิดของ secondary metabolites ได้แก่ 1) รสชาติและกลิ่นไม่พึงประสงค์ (เมทาบอไลท์ของกลิ่น) หรือ 2) เป็นกิจกรรมทางชีวเคมี (bioactive metabolites) ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบกึ่งหนาแน่นและหนาแน่นทั้งในน้ำจืดและน้ำเค็ม

ตาราง 3 ชนิดของไซยาโนแบคทีเรีย (cyanobacteria) ที่ผลิตสารประกอบกลิ่นโคลน

Source	Odorous metabolite (s)
Anabaena circinalis Kütz.	Geosmin
A. crassa Lemmermann	Geosmin
A. laxa	Geosmin
A. lemmermanii Richter	Geosmin
A. macrospora Klebahn	Geosmin
A. solitaria Klebahn	Geosmin
A. viguieri Denis & Frémy	Geosmin
Aphanizomenon flos-aquae (Linnaeus) Ralfs	Geosmin
Aphan. gracile Lemmermann	Geosmin
Fisheriella muscicola (Gomont)	Geosmin
Hyella sp.	MIB
Jagerinema genimatum	MIB
Leibleinia subtilis (Holden)	Geosmin
Lyngbya aestuarii Lieberman	Geosmin
L. cryptovaginata	Geosmin
L. wollei (Farlow ex Gomont)	MIB
Oscillatoria amphibia	Geosmin
O. curiceps C. Aghardh	MIB
O. limosa C. Aghardh	MIB
O. tenuis Gardiner	MIB
O. variabilis Rao	MIB
Phormidium amoeneum (Kützing)	Geosmin
Phorm. autumnale (Agardh) Trevisan ex Gomont	MIB
Phorm. breve (Gomont)	Geosmin, MIB
Phorm. calcicola Gardner	Geosmin, MIB
Phorm. cortianum (Meneghini)	Geosmin
Phorm. formosum (Bory ex Gomont)	Geosmin

ตาราง 3 (ต่อ)

Source	Odorous metabolite(s)
Phorm. favosum (Bory) Gomon	MIB
Phorm. simplissimum (Gomont)	Geosmin
Phorm. tenue (C. Aghardh ex Gomont)	MIB
Phorm. uncinatim (C. Aghardh) Gomont	Geosmin
Phorm. viscosum Kütz.	Geosmin
Phorm. sp.	Geosmin, MIB
Planktothrix aghardhii (Gomont)	Geosmin, MIB
Plankto. cryptovaginata (Schkorbatow)	MIB
Plankto. perornata f. *attenuata* (Skuja)	MIB
Plankto. prolifica (Greville ex Gomont)	Geosmin, MIB
Porphyrosiphon martensianus	MIB
Pseudanabaena articulata Skuja	MIB
Pseudo. catenata Lauterborn	Geomin, MIB
Pseudo. limnetica (Lemmermann)	MIB
Schizothrix muellerii Nägeli	Geosmin
Symploca muscorum (C. Aghardh) Gomont	Geosmin
Synechococcus cedrorum Sauvageau	MIB
Synech. sp.	MIB
Tychonema bornetii (Zukal) Anagnositidis & Komárek	Geosmin
Tycho. granulatum (Gardner) Anagnositidis & Komárek	Geosmin, MIB

ที่มา: Smith *et al.* (2008)

แอคติโนมัยซีส (Actinomycetes)

เป็นพวกที่ไม่มีเยื่อหุ้มนิวเคลียส (Prokaryote) ผนังเซลล์ประกอบด้วย peptidoglycan ซึ่งประกอบด้วยน้ำตาล 2 ชนิด คือ N-acetyl glucosamine และ N-acetyl muramic acid นอกจากนั้นยังมีกรดอะมิโนหลายชนิด และสามารถพบ lipoprotein และ lipopolysaccharide เป็นองค์ประกอบที่ผนังเซลล์ของแบคทีเรียบางชนิด (จินดาวรรณ, 2550) เมื่อเจริญในอาหารเหลวจะเจริญเป็นกลุ่มเป็นก้อนไม่กระจัดกระจายเหมือนกับแบคทีเรียทำให้อาหารเลี้ยงเชื้อมีลักษณะใส การเพิ่มจำนวนจะคล้ายกับเชื้อราคือเป็นแบบ apically ซึ่งต่างจากแบคทีเรียซึ่งมีการเพิ่มจำนวนเป็นแบบ exponential อัตราการเจริญเติบโตของแอคติโนมัยซีสจะช้ากว่าแบคทีเรียและเชื้อรามากคือประมาณ 7-14 วันจึงจะสร้างโคโลนีที่สมบูณ์มีทั้งเส้นใยใต้ผิวอาหารและเส้นใยเหนือผิวอาหารปรากฏให้เห็น สำหรับชนิดที่มีการเจริญช้าและสร้างเส้นใยทั้ง 2 แบบ อาจใช้ระยะเวลาถึง 1 เดือน (Waksman, 1967 ; Mendez *et al*., 1985)

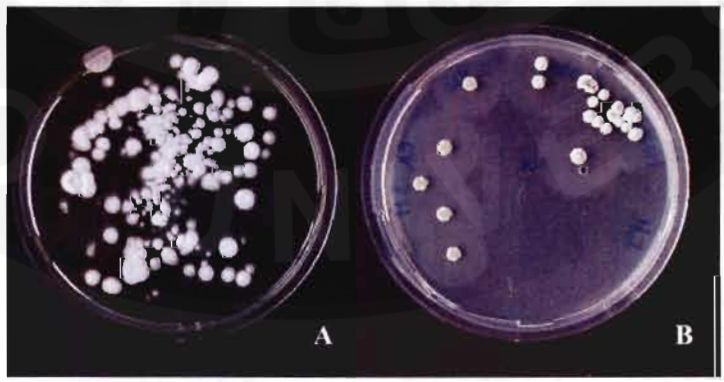
สามารถพบแอคติโนมัยซีสได้ทั่วไปในธรรมชาติ เช่น ในดิน น้ำ อากาศ และในพืช แหล่งที่พบมาก ได้แก่ บริเวณที่มีการสะสมสารอินทรีย์ เช่น วัตถุเน่าเปื่อย โคลน ตะกอนใต้แม่น้ำ ใต้ทะเล ดินบริเวณน้ำพุร้อน หรือป่าชายเลน สามารถพบแอคติโนมัยซีสในดินได้มากเป็นอันดับสองรองจากแบคทีเรีย โดยพบแอคติโนมัยซีสจำนวนมากที่ดินชั้นบนและลดจำนวนลงไปในดินชั้นลึกลงไปและชอบดินพีเอช 6.5-8.0 นอกจากนี้ยังพบมากในดินบริเวณรอบรากพืช (rhizosphere) ของพืชซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นแอคติโนมัยซีสกลุ่มของ *Streptomycetes* และ *Nocardia* จะเห็นได้ว่าสามารถพบแอคติโนมัยซีสได้ทั่วไป โดยมีปัจจัยที่มีผลควบคุมปริมาณของแอคติโนมัยซีส คือ สภาพทางปริมาณอินทรียวัตถุ ความเป็นกรดด่าง และระดับความชื้นของดินรวมทั้งความชื้น อุณหภูมิ และฤดูกาลของสิ่งที่อยู่อาศัย แอคติโนมัยซีสเป็นแบคทีเรียที่มีลักษณะทางสัณฐานวิทยาหลากหลาย ได้อาหารจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ (saprophytic) และชอบอุณหภูมิปานกลาง (Waksman, 1967 ; Mendez *et al*., 1985)

ส่วน (Porter, 1971) พบว่าแอคติโนมัยซีสมีอิทธิพลอย่างมากต่อการเกิดกลิ่นโคลน เนื่องจากพบโครงสร้างทางเคมีและแหล่งทางชีววิทยาบางส่วนของจีออสมินและเอ็มไอบี ซึ่งกลุ่มของไซยาโนแบคทีเรียเป็นตัวผลิตจีออสมินและเอ็มไอบี Tabachek and Yurkowski (1976) พบว่าแหล่งของจีออสมินและเอ็มไอบีในน้ำส่วนมากมาจากแอคติโนมัยซีส Klausen *et al.* (2005) ได้สรุปว่าพบแอคติโนมัยซีสในระดับความเข้มข้นต่ำของจีออสมินและเอ็มไอบีในแหล่งน้ำที่ไหลผ่านการเพาะเลี้ยงปลาเทร้าท์เนื่องจากสามารถแยกสายพันธุ์ *Streptomyces* จากแหล่งน้ำนี้ซึ่งสามารถสังเคราะห์จีออสมินและเอ็มไอบีได้ในขณะที่พบกลุ่มของไซยาโนแบคทีเรีย (ภาพ 3)

ตาราง 4 ชนิดของแอคติโนมัยซีส และ non-cyanobacterial ที่ผลิตจีออสมิน(GE) และเอ็มไอบี(MIB)

Volatile organic compound (VOC)	Taxa
MIB, GE	*Penicillium, Aspergillus* species
GE	*P. expansum*
GE	*Streptomyces albidoflavus*
GE	*S. avermitilis*
GE	*S. citreus*
GE	*S. griseu*
GE, MIB	*S. griseofuscus*
GE	*S. halstedii*
GE	*S. psammoticus*
GE	*S. psammoticus*
GE	*S. tendae*
GE, MIB	*Streptomyces spp.*
GE	*Symphyogyna brongniartii* (liverwort)
GE	*Vannella* sp. (heterotrophic amoeba)

ที่มา: Jüttner and Watson (2007)



ภาพ 3 (A) การแยกชนิดแอคติโนมัยซีสจากบ่อเลี้ยงปลาเทร้าท์พบว่ามีลักษณะใกล้เคียงกับสายพันธุ์ *Rothia* spp. (B) *Streptomyces griseus* spp.

ที่มา: Klausen *et al.* (2004)

การเกิดกลิ่นโคลนในสัตว์น้ำ

Martin *et al.* (1990) ได้ทำการศึกษาการสะสมสารเอ็มไอบีในเนื้อเยื่อของปลากดอเมริกัน (channel catfish) ขนาด 0.6-0.7 กิโลกรัม ทำการฉีดสารละลายเอ็มไอบีความเข้มข้น 1 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม เข้าไปในเส้นเลือดบริเวณใกล้หัวใจ จากนั้นทำการฆ่าปลาที่ระยะเวลาต่างกัน 2, 24 และ 96 ชั่วโมง แล้วนำตัวอย่างจากอวัยวะส่วนต่าง ๆ ได้แก่ ตับ ไต ผิวหนัง เนื้อช่องท้อง และกล้ามเนื้อ เพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณสารเอ็มไอบี โดยวิธีแก๊สโครมาโทกราฟฟี พบว่าเนื้อเยื่อส่วนผิวหนัง และเนื้อท้อง ซึ่งเป็นเนื้อเยื่อส่วนที่มีปริมาณไขมันสูง มีความเข้มข้นของสารเอ็มไอบีสูงกว่าในเนื้อเยื่อส่วนอื่น ๆ Johnsen and Lloyd (1992) ได้ทำการศึกษาในปลากดอเมริกันขนาด 500±100 กรัมที่มีปริมาณไขมันในระดับต่างกัน โดยนำตัวอย่างปลาที่ได้มาทำการแช่ในสารละลายเอ็มไอบี 1 ไมโครกรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 25.5±1 °C แล้วทำการสุ่มเก็บตัวอย่างปลาที่ระยะเวลา 0, 2, 4, 8 และ 24 ชั่วโมง เพื่อวิเคราะห์ปริมาณสารเอ็มไอบีด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟฟี และแมสสเปคโตรโฟโตมิตรี โดยแบ่งปลาเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีไขมันสูงกว่าร้อยละ 2 (2.5, 4.0 และ 6.0) และกลุ่มที่มีไขมันต่ำกว่าร้อยละ 2 (0.5, 1.0 และ 1.5) พบว่าหลังจากการแช่ในสารละลายเอ็มไอบี 24 ชั่วโมง สามารถตรวจพบสารเอ็มไอบีในเนื้อปลาที่มีปริมาณไขมันร้อยละ 2.5, 4.0 และ 6.0 เท่ากับ 20.1, 24.3 และ 20.8 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

Yamprayoon and Noomhorm (2000) ได้ทำการศึกษาการดูดซึมและการแพร่กระจายทางชีวภาพของสารจีออสมินในปลานิล พบว่า การพักปลานิลในน้ำที่มีสารละลายจีออสมินเข้มข้น 5 ไมโครกรัมต่อลิตร จะทำให้ปลานิลจะค่อย ๆ ดูดซึมสารจีออสมินเข้าสู่ตัวเพิ่มขึ้น โดยแพร่กระจายไปยังส่วนต่าง ๆ ของร่างกายปลา ตั้งแต่เวลา 0-72 ชั่วโมง Casey *et al.* (2004) ได้ทำการทดสอบหากลิ่นโคลนในฟาร์มปลากดอเมริกัน (channel catfish) โดยใช้วิธีการทดสอบทางประสาทสัมผัส วิธีการสกัดของแข็ง และวิธีเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟฟี พบว่าปลากดอเมริกันที่ทำการสุ่มตรวจพบว่ามีสารประกอบเอ็มไอบีมีค่าอยู่ที่ 0.1 และ 0.2 ไมโครกรัม/กิโลกรัม ส่วนสารประกอบจีออสมินมีค่าอยู่ที่ 0.25 และ 0.5 ไมโครกรัม/กิโลกรัม ซึ่งพบว่าปริมาณสารประกอบจีออสมินมีปริมาณมากกว่าสารประกอบเอ็มไอบี

Grimm *et al.* (2004) ได้มีรายงานว่า จากการตรวจสอบกลิ่นโคลนหรือกลิ่นไม่พึงประสงค์ในปลา catfish โดยการใช้ผู้เชี่ยวชาญทางการประสาทสัมผัสและใช้เครื่อง GC/MS พบว่าที่ระดับของเอ็มไอบีที่พบในตัวปลามีค่าอยู่ระหว่าง 0.1 และ 0.2 ไมโครกรัม/กิโลกรัม ส่วนจีออสมินมีค่าประมาณ 0.25- 0.5 ไมโครกรัม/กิโลกรัม Whangchai *et al.* (2008) ศึกษาผลของการเลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียวต่อการเจริญเติบโตและการสะสมกลิ่นไม่พึงประสงค์ในปลานิลแดง พบว่าผลการเลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียวโดยใช้ปุ๋ยมูลไก่ ไม่เพียงแต่ช่วยในการเจริญเติบโตของปลาเท่านั้นแต่ยังทำ

ให้เกิดการสะสมของสารประกอบจีออสมินและเอ็มไอบีในเนื้อปลานิลแดงด้วย โดยสารประกอบจีออสมินจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณของแอคติโนมัยซีสในดินพื้นบ่อ ในขณะที่สารประกอบเอ็มไอบีจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณของไซยาโนแบคทีเรีย Persson (1980) ได้ทำการตรวจสอบสารเอ็มไอบีในปลา Bream, ปลา Pike, ปลาหมอ และปลาเทร้าท์ มีค่าเท่ากับ 0.095, 0.085, 0.075 และ 0.55 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าปลาเทร้าท์จะมีการสะสมสารเอ็มไอบีมากกว่าปลาชนิดอื่นแต่ค่าที่ได้ยังต่ำกว่าระดับของจีออสมิน (ตาราง 5)

ตาราง 5 ปริมาณกลิ่นโคลนที่สะสมในสัตว์น้ำชนิดต่าง ๆ

ชนิดปลา	GSM	MIB	อ้างอิง
Bream	-	0.095 $\mu g.kg^{-1}$	
Pike	-	0.085 $\mu g.kg^{-1}$	Persson (1980)
Rainbow trout	-	0.055 $\mu g.kg^{-1}$	
Shrimp	78 $\mu g.kg^{-1}$	-	Lovell and Broce (1985)
Channel catfish	-	20.1-20.8 $\mu g.kg^{-1}$	Johnsen and Lloyd (1992)
Channel catfish	0.7 $\mu g.kg^{-1}$	-	Dionigi *et al.* (2000)
Channel catfish	0.25-0.5 $\mu g.kg^{-1}$	0.1-0.2 $\mu g.kg^{-1}$	Casey *et al.* (2004)
Channel catfish	250-500 $ng.kg^{-1}$	100-200 $ng.kg^{-1}$	Grimm *et al.* (2004)
Rainbow trout	0.9 $\mu g.kg^{-1}$	-	Robertson *et al.* (2005)
Rainbow trout	900 $ng.kg^{-1}$	-	Robertson *et al.* (2006)
	7.2 $\mu g.kg^{-1}$	-	
Red tilapia	4.6-41.0 $\mu g.kg^{-1}$	10.0-74.0 $\mu g.kg^{-1}$	Whangchai *et al.* (2008)

การสะสมของจีออสมินและเอ็มไอบีในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ

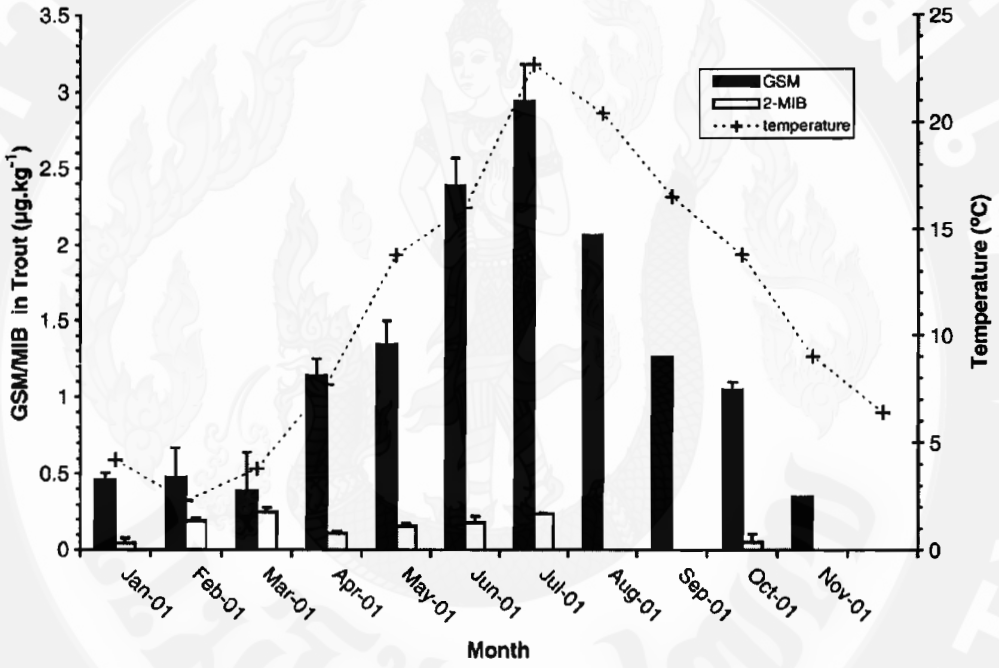
การสะสมของสารจีออสมินและเอ็มไอบีสามารถสะสมจากการดูดซึมของเหงือก อวัยวะทางเดินอาหารและผิวหนัง (Clark *et al.*, 1990) โดยเทอร์ปีนอยด์ที่ถูกผลิตจากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเป็นส่วนประกอบที่ทำให้เกิดกลิ่นโคลน และถูกปล่อยไปสามารถดูดซึมเข้าไปในตัวปลาได้โดยเมื่อปลากินอาหารหรือพัดผ่านเข้าไปในเหงือกก็จะทำให้สารประกอบเหล่านี้ซึมให้กลิ่นในเหงือก ในอวัยวะภายใน และในเนื้อ ทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของน้ำโดยอุณหภูมิน้ำที่สูงจะมีการดูดซึมได้ดีกว่าอุณหภูมิน้ำที่ต่ำ และปริมาณไขมันที่มีอยู่ในตัวปลา (วรพงษ์, 2545)

Yamprayoon and Nomhorm (2000) ได้ทำการศึกษาการสะสมกลิ่นไม่พึงประสงค์ปลานิลโดยเพิ่มสารจีออสมินในเนื้อปลาที่ระดับความเข้มข้น 2.8-3.90 ไมโครกรัม/กิโลกรัม พบว่าปลานิลจะมีอัตราขับสารจีออสมินออกจากตัวปลาถึง 51-89 เปอร์เซ็นต์ และสะสมอยู่ในเนื้อปลาเท่ากับ 7.55-9.85 ไมโครกรัม/กิโลกรัม อวัยวะที่มีการดูดซึมได้ดีที่สุดคือ ลำไส้ รองลงมาคือ ผิวและเนื้อ ตามลำดับ เมื่อนำปลานิลไปแช่ไว้ในน้ำที่สารจีออสมินปนเปื้อนในระดับความเข้มข้น 5 และ 50 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมเป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบว่าปลานิลมีการดูดซึมเท่ากับ 17.6 และ 42.2 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ ดังนั้นเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นปลานิลจะมีการดูดซึมสารจีออสมินเพิ่มขึ้นมากตามไปด้วย

Lovell and Sackey (1973) ได้ศึกษาการดูดซับกลิ่นดินโคลนของปลาแคทฟิช โดยนำปลาขนาด 50 กรัม มาเลี้ยงไว้ในถังสแตนเลส ขนาด 150 ลิตร ที่เลี้ยงสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินแต่ละชนิด ได้แก่ *Symploca muscorum* หรือ *Oscillatoria tenuis* พบว่าภายในระยะเวลา 2 วัน ปลาแคทฟิชจะมีการสะสมของกลิ่นดินโคลนคล้ายกับกลิ่นของสาหร่าย ส่วนปลาที่เก็บไว้ในถังที่ปราศจากสาหร่ายจะมีการเกิดกลิ่นได้เช่นกันแต่ช้ากว่าปลาที่เลี้ยงไว้ร่วมกับสาหร่าย แสดงให้เห็นว่าปลาแคทฟิชสามารถดูดซับสารประกอบจีออสมินและเอ็มไอบีทางเนื้อเยื่อของเหงือกได้แม้ไม่มีสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน Robertson *et al.* (2005) ได้ทำการศึกษาการสะสมของสารจีออสมินในปลาเรนโบว์เทร้าท์ (*Onchorhynchus mykiss*) โดยใช้ปลาขนาดตลาด 278±5.7 กรัม จำนวน 44 ตัว มีปริมาณไขมันเท่ากับ 4.64 ± 0.19 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นจึงนำไปสัมผัสกับสารจีออสมินที่อุณหภูมิ 14.5 องศาเซลเซียส ตรวจเช็คปริมาณสารจีออสมินโดยวิธีการใช้ประสาทสัมผัส พบว่าสามารถตรวจพบสารจีออสมินในปลาเรนโบว์เทร้าท์เมื่อผ่านชั่วโมงที่ 3 และมีระดับมากที่สุดในชั่วโมงที่ 6 (2.94±0.13 ไมโครกรัม/กิโลกรัม, n=5) หลังจากสัมผัสไปได้ 24 ชั่วโมง ในกลุ่มการทดลองที่มีการปนเปื้อนของสารจีออสมินในระดับความเข้มข้นน้อย ปานกลาง และมาก จะมีระดับความเข้มข้นของสารจีออสมินลดลง เท่ากับ 1.68±0.12, 2.98±0.39 และ 6.25±0.75 ไมโครกรัม/กิโลกรัม

Robertson *et al.* (2006) ได้ทดลองการสะสมของสารจีออสมินและเอ็มไอบีในแต่ละฤดูกาลพบว่าในช่วงฤดูร้อนจะมีปริมาณของสารจีออสมินและเอ็มไอบีมากที่สุดประมาณ 25 นาโนกรัม/ลิตร (ภาพ 4) Lovell and Broce (1985) ได้รายงานว่า ในปี 1983 การเพาะเลี้ยงกุ้งในประเทศเอกวาดอร์พบปัญหากุ้งมีกลิ่นโคลนโดยพบว่ามีสารประกอบจีออสมินในระดับความเข้มข้นที่สูงบริเวณกล้ามเนื้อกุ้งโดยมีความเข้มข้น 78 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งเป็นปริมาณสารประกอบจีออสมินที่สูงกว่าในปลาแคทฟิชซึ่งมีปริมาณสารประกอบจีออสมินเพียง 9.8 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม โดยสันนิษฐานว่าสาหตุที่ทำให้กุ้งเกิดกลิ่นโคลนที่มีความเข้มข้นสูงเนื่องมาจากมีความเค็มในน้ำที่ใช้เลี้ยงลดลงทำให้สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น

Matsuyasu *et al.* (1995) ได้ทดสอบผลของสารจีออสมินและเอ็มไอบีต่อการพัฒนาการของหอยเม่น พบว่าระดับ LC_{50} ของสารจีออสมินที่ความเข้มข้น 16.67 มิลลิกรัมต่อลิตร และเอ็มไอบีที่ความเข้มข้น 68.77 มิลลิกรัมต่อลิตร มีผลต่อรูปแบบการปฏิสนธิ ส่วนระดับ LC_{50} ของสารจีออสมินและเอ็มไอบีมีผลต่อรูปแบบของการแบ่งเซลล์ของหอยเม่นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 16.58 และ 66.56 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ



ภาพ 4 การสะสมของสารจีออสมินและเอ็มไอบีตามช่วงฤดูกาล
ที่มา: Roberson *et al.* (2006)

สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน

1. ความเข้มแสง

แสงเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย ความเข้มแสงในน้ำขึ้นกับสถานที่ ฤดูกาล เวลาในรอบวัน ระดับความลึกของน้ำ สี ความขุ่น และปริมาณเกลือแร่ที่ละลายอยู่ในน้ำ ความต้องการปริมาณแสงของสาหร่ายแต่ละชนิดแตกต่างกัน การได้รับปริมาณแสงสูงหรือต่ำเกินไปมีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินนอกจากที่มี คลอโรฟิลล์ เอ เป็นรงควัตถุหลักสำหรับการดูดซึมแสง และเกิดปฏิกิริยาการ

สังเคราะห์แสงยังมีรงควัตถุอื่น ๆ เช่น ไฟโคบิโลโปรตีน (phycobiloproteins) ซึ่งประกอบด้วย อัลโลไฟโคไซยานิน (allophycocyanin), ไฟโคไซยานิน (phycocyanin) และบางชนิดมีไฟโคเออริทริน (phycoertthrine) รงควัตถุดังกล่าวนี้สามารถดูดซึมแสงในช่วงสีเขียว เหลือง และส้ม (500-600 นาโนเมตร) ทำให้สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสามารถเก็บเกี่ยวแสงได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Cohen-Bazia and Bryant, 1982)

Raps *et al.* (1983) กล่าวว่าสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสามารถอาศัยอยู่ได้ในบริเวณที่มีแสงน้อยได้ เช่น ในบริเวณที่แสงส่องลงไปได้น้อย น้ำที่มีความขุ่นมาก ๆ โดยความเข้มแสงสูงจะมีการเปลี่ยนแปลงของรงควัตถุภาพในเซลล์ กล่าวคือมีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอและไฟโคไซยานินลดลงในขณะที่แคโรทีนอยด์ไม่ทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงลดลงและเชื่อว่าเป็นกระบวนการปรับตัวเพื่อป้องกันการถูกทำลายคลอโรฟิลล์ เอ เนื่องจากความเข้มแสงสูง (Lee, 1999) ที่ความเข้มแสงของแสงต่ำพบว่าจะมีการปรับตัวให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอและไฟโคไซยานินเพิ่มขึ้นทำให้แพลงก์ตอนพืชมีอัตราการสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้นและเห็นเป็นสีเขียวแกมน้ำเงิน

2. การลอยตัว

สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินหลายชนิดมีแก๊สแวคคิวโอล ซึ่งเป็นโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นถุงที่มีก๊าซบรรจุอยู่ภายในโดยมีลักษณะเป็นถุงกลวงที่ภายนอกเป็นส่วนไฮโดรฟิลลิคภายในมีลักษณะเป็นไฮโดรฟิบิคโดยแก๊สแวคคิวโอลมีความหนาแน่นเพียง 1 ใน 10 ส่วนของน้ำซึ่งทำให้สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำ (Walby, 1987)

3. สารอาหาร

สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมักเกิดในบริเวณที่มีสารอาหารสูงซึ่งมักมีปริมาณฟอสฟอรัสและไนโตรเจนความเข้มข้นสูงในน้ำมากกว่าแพลงก์ตอนพืชอื่น นอกจากนี้สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินยังมีความสามารถในการสะสมฟอสฟอรัส โดยสะสมมากเพียงพอในการแบ่งเซลล์ 2 ถึง 4 ครั้ง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 4-32 เท่าของน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามมักพิจารณาถึงค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดมากกว่าค่าของฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำเพียงอย่างเดียวฟอสฟอรัสความเข้มข้นสูงจะส่งเสริมสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินทางอ้อม เนื่องจากฟอสฟอรัสจะทำให้เกิดการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชโดยทั่วไปอย่างหนาแน่น การเปรียบเทียบระหว่างค่าที่เหมาะสมของอัตราส่วนระหว่างไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในสาหร่ายกลุ่มที่เป็นยูคาริโอต มีค่าเท่ากับ 16-23 โมเลกุล ไนโตรเจนต่อ 1 โมเลกุลของฟอสฟอรัส ส่วนอัตราส่วนที่เหมาะสมของการเจริญของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมีค่าต่ำกว่าคือ 10-16 โมเลกุลไนโตรเจนต่อ 1 โมเลกุลของฟอสฟอรัส (Schreurs, 1992)

4. ความขุ่นของน้ำ

ความขุ่นของน้ำเกิดเนื่องจากมีอนุภาคแขวนลอยอยู่ทั้งที่เป็นสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์รวมทั้งสิ่งมีชีวิตในน้ำ อนุภาคแขวนลอยมีผลต่อแสงที่ส่องผ่านลงมาในน้ำทำให้เกิดการกระจายของแสง แสงบางส่วนจะถูกดูดซับเอาไว้ ทำให้ปริมาณแสงที่ส่องลงไปด้านล่างลดลงมีผลให้การสังเคราะห์แสงของสาหร่ายลดลง สาหร่ายจึงเจริญเติบโตได้ไม่เต็มที่ (ลัดดา, 2539)

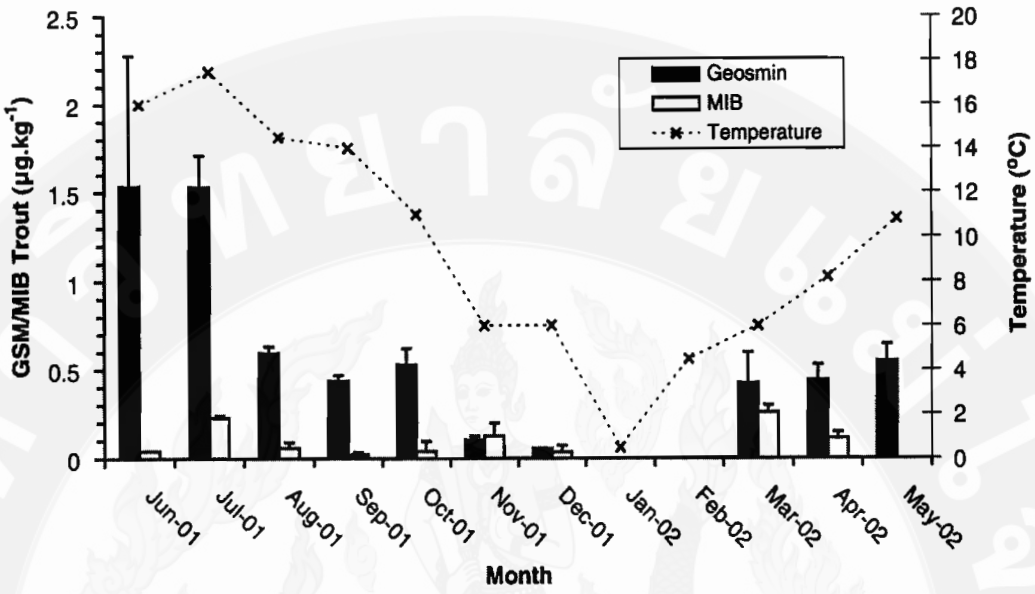
5. ความเป็นกรดเบส

ความเป็นกรดเบสที่เหมาะสมกับสิ่งมีชีวิตในน้ำมีค่าอยู่ในช่วง 6.0-8.0 สาหร่ายแต่ละชนิดต้องการความเป็นกรดเบสในระดับที่แตกต่างกัน บางชนิดมีความทนทานต่อสภาวะแหล่งน้ำที่เป็นกรดจึงสามารถเจริญเติบโตได้ดี แต่โดยทั่วไปสาหร่ายเจริญเติบโตได้ดีในน้ำที่มีสภาพเป็นกรด (ลัดดา, 2539)

6. อุณหภูมิ

ในการเลี้ยงสัตว์น้ำส่วนใหญ่จะพบว่ามีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของสาหร่ายอยู่ 2 ชนิดคือ สาหร่ายสีเขียว และสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน โดยในช่วงอากาศหนาวจะพบว่าสาหร่ายสีเขียวจะเป็นชนิดที่เด่นแต่ปริมาณของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินจะพบมากถึง 50-70 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงหน้าร้อนซึ่งมีสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและยังเป็นตัวสร้างสารจืออสมิน Martin (1994) อัตราการเจริญเติบโตสูงสุดของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินโดยทั่วไปมักพบในอุณหภูมิมากกว่า 25 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมซึ่งสูงกว่าค่าของสาหร่ายในกลุ่มสาหร่ายสีเขียวและสาหร่ายในกลุ่มไดอะตอม

Mur *et al.* (1999) พบว่าสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินจะไม่เจริญเติบโตหรือสร้างสารจืออสมินในน้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่า 15.56 องศาเซลเซียส (60 องศาฟาเรนไฮต์) Roberson *et al.* (2006) รายงานว่า จากการตรวจสอบอุณหภูมิในปลาเทร้าท์กับความสัมพันธ์ของสารจืออสมินและเอ็มไอบี พบว่าสารทั้งสองจะมีค่าสูงสุดเมื่อมีอุณหภูมิสูงสุด (ภาพ 5)



ภาพ 5 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิต่อปริมาณจีออสมินและเอ็มไอบีในปลาเทร้าท์
ที่มา: Roberson *et al.* (2006)

ปัญหาของการผลิตปลานิลในระบบน้ำเขียว

ในระบบการเลี้ยงปลาแบบผสมผสานมักประสบปัญหาการเน่าเสียของน้ำที่ใช้เลี้ยง และการเพิ่มจำนวนของแพลงก์ตอนพืชมากเกินไป (eutrophication) ในบ่อ เนื่องจากมีปริมาณของเสียที่ปล่อยลงสู่บ่อเลี้ยงปลามากจนเกินไป เมื่อสิ่งขับถ่ายจากโรงเรือนถูกปล่อยลงสู่บ่อเลี้ยง ปริมาณของเสียบางส่วนสามารถละลายน้ำได้ แต่มีบางส่วนที่หมักหมมและย่อยสลายบริเวณใต้โรงเรือนเป็นจำนวนมาก โดยของเสียส่วนใหญ่ที่ปล่อยลงสู่บ่อปลาจะประกอบด้วยสารอาหารต่าง ๆ เช่น ธาตุไนโตรเจนและธาตุฟอสฟอรัสในปริมาณสูง

โดยเฉพาะเมื่อระยะเวลาการเลี้ยงมากขึ้นหรือในช่วงที่มีการถ่ายเทน้ำน้อย เช่น ฤดูร้อน ทำให้แพลงก์ตอนพืชมีการเจริญเติบโตมากเกินควร ทำให้น้ำในบ่อมีสีเขียวเข้มโดยชนิดของแพลงก์ตอนพืชที่เจริญเติบโตมีทั้งชนิดที่เป็นประโยชน์และชนิดที่ให้โทษ ซึ่งแพลงก์ตอนพืชบางชนิดทำให้ปลาที่เลี้ยงมีกลิ่นโคลน กลิ่นที่พบมากในปลาที่ได้จากการเพาะเลี้ยงโดยเฉพาะปลาที่เลี้ยงในบ่อดิน และเป็นปัญหามากต่อการส่งออก ได้แก่ กลิ่นสาบหรือกลิ่นโคลน โดยในอดีตเข้าใจว่าเกิดจากอาหารที่ขึ้นราจึงเป็นสาเหตุที่ทำให้ปลามีกลิ่นดังกล่าว แต่ปัจจุบันเป็นที่ทราบชัดแล้วว่ากลิ่นโคลนในตัวปลาเกิดขึ้นเนื่องจาก ปลาดูดซับสารละลายชนิดหนึ่งในน้ำ เรียกว่า จีออสมิน เข้าไปทางเหงือกหรือกินตัวการที่ผลิตสารนี้เข้าไปโดยตรงแล้วสะสมสารนี้ในเนื้อเยื่อที่สะสมไขมัน สันนิษฐานกันว่าตัวการที่ผลิตสารนี้เข้าไปโดยตรง ได้แก่ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินบางชนิด เชื้อรา

และจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นในบ่อเลี้ยง ตัวการเหล่านี้มักเกิดขึ้นอย่างหนาแน่นในบ่อที่มีการให้อาหารมาก ดังนั้นหากจะกล่าวว่าอาหารเป็นต้นเหตุของกลิ่นโคลนก็เป็นได้ เพราะปริมาณอาหารที่ใช้เลี้ยงไม่ใช่คุณภาพของอาหารโดยตรงที่เป็นต้นเหตุ การเติมปุ๋ยมากเกินไปอาจทำให้แพลงก์ตอนพืชเจริญเติบโตมากเกินไป หากเกิดกรณีเช่นนี้จะต้องหยุดการเติมปุ๋ยทันทีจนกว่าปริมาณแพลงก์ตอนพืชลดลงถึงระดับพอดี มิฉะนั้นแล้วระดับออกซิเจนละลายน้ำจะลดลงจนเป็นอันตรายต่อปลาถึงตายได้ เนื่องจากแพลงก์ตอนพืชต้องใช้เวลาพอสมควรในการเจริญเติบโต บ่อเลี้ยงปลาที่มีเวลากักน้ำสั้นเกินไปจึงไม่สามารถเลี้ยงแพลงก์ตอนพืชได้ การเติมปุ๋ยจะไม่มีประโยชน์ในกรณีนี้ การระบายน้ำออกจากก้นบ่อที่มีเวลากักน้ำต่ำอาจช่วยลดการสูญเสียสารอาหารและแพลงก์ตอนพืชได้ (Milie *et al*., 1992)

เมื่อมีธาตุอาหารเพิ่มขึ้นในน้ำจากการละลายของตะกอนของอนุภาคดินที่พื้นบ่อหรือการนำอนุภาคดินหรือน้ำมาจากแหล่งน้ำอื่น แพลงก์ตอนพืชจะเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วและเนื่องจากแพลงก์ตอนพืชเหล่านี้มีวงจรชีวิตที่สั้นเมื่อตายลงเกิดการเน่าเปื่อยทับถมทำให้อากาศที่ละลายในน้ำถูกนำใช้ไปอย่างรวดเร็วเกินกว่าที่จะละลายได้ น้ำจึงขาดออกซิเจนเมื่อการเน่าเปื่อยดำเนินไปในลักษณะไร้อากาศจะเกิดแก๊สที่มีกลิ่นเหม็น น้ำเปลี่ยนสีโดยกระบวนการยูโทรฟิเคชั่นอันเกิดจากการเพิ่มธาตุอาหารแก่พืชน้ำเช่นนี้นับเป็นการลดคุณภาพน้ำลงทำให้น้ำเสีย เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ (Tucker and Roberson, 1990)

วิธีการลดและการกำจัดสารประกอบที่ทำให้เกิดกลิ่นโคลน

การควบคุมคุณภาพของสัตว์น้ำก่อนจับขายเป็นไปได้ยากเพราะภายในบ่อถือได้ว่าเป็นที่อยู่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน หากสามารถควบคุมปริมาณสาหร่ายลงให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมจะทำให้กลิ่นโคลนลดลงตามไปด้วย แต่ส่วนมากมักนิยมใช้สารเคมีในการกำจัดปริมาณสาหร่าย เช่น คอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4$) ซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลายในวงการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแต่ก็ไม่ใช่ทางเลือกที่ดีเพราะคอปเปอร์ซัลเฟตส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำ ทำให้ความกระด้างและความเป็นด่างลดน้อยลง ถ้าใส่มากจนเกินไปจะมีผลต่อปลาภายในบ่อด้วย (Tucker *et al*., 2000) สารฟานีโซล (Farnesol; 3,7,11- trimethyl-2,6,10-dodecatrien-1-ol) สามารถลดปริมาณของ *Streptomyces tendae* ซึ่งเป็นตัวผลิตสารจีออสมินและเอ็มไอบีได้ถึง 97 เปอร์เซ็นต์ โดยสารฟานีโซลจะลดการเจริญเติบโตและลดอัตราของเมทาบอลิซึมใน *S. tendae* ให้น้อยลง (Dionigi *et al*., 1991)

Tung *et al*. (2006) ได้ศึกษาผลของโซเดียมไฮโปคลอไรด์ โปตัสเซียมเปอร์แมงกาเนตและโอโซนในการลดสารเอ็มไอบีและจีออสมินในน้ำที่มีสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสายพันธุ์

Oscillatoria sp. พบว่าการเพิ่มโอโซนเป็นเวลา 10 นาทีในความเข้มข้น 0.91 มิลลิกรัม/ลิตร/นาที สามารถลดเอ็มไอบีและจีออสมินได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนคลอไรด์ และเปอร์แมงกาเนตสามารถลดได้น้อยมากแค่ 11 เปอร์เซ็นต์ ภายในเวลา 60 นาที ที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/ลิตร โดยคลอไรด์และเปอร์แมงกาเนตจะไปทำลายเซลล์ของสาหร่ายแต่กลับพบว่ามีความเข้มข้นของเอ็มไอบีเพิ่มขึ้น เป็นเพราะว่าสาหร่ายที่มีอายุน้อยจะปล่อยสารเอ็มไอบีจากเซลล์ที่ถูกทำลายและจากการออกซิไดส์ ส่วนสาหร่ายที่มีอายุมากว่าจะง่ายต่อการทำลายทำให้สารเอ็มไอบีที่อยู่ภายในถูกปล่อยออกมามาก

Lovell (1976) รายงานว่าการจัดการระหว่างการเลี้ยงสัตว์นำด้วยวิธีควบคุมปริมาณสารอาหารและคุณภาพน้ำเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่สามารถลดความเข้มข้นของสารประกอบที่ทำให้เกิดกลิ่นโคลน โดยควรมีวิธีการให้อาหารและการควบคุมปริมาณอาหารที่ให้เหมาะสมและให้อาหารที่ดีมีของเสียเหลือน้อยที่สุดเพื่อไม่ให้มีสารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายที่ทำให้เกิดกลิ่นโคลนหรือถ้าเป็นไปได้ควรมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำในบ่อเลี้ยงเพื่อกำจัดเศษอาหารที่เหลือในบ่อ Form and Horlyck (1984) ได้แนะนำว่าการทำให้น้ำมีพีเอชต่ำสามารถลดความเข้มข้นของสารประกอบที่ทำให้เกิดกลิ่นโคลนได้เพราะจะทำให้สารจีออสมินเปลี่ยนรูปไปเป็นอากอสมินซึ่งเป็นสารที่มีพีเอชตามธรรมชาติของน้ำ

Van der ploeg and Boyd (1991) พบว่าอุณหภูมิของน้ำ การเคลื่อนที่ของน้ำโดยกระแสลม การให้อากาศ และการใช้จุลินทรีย์สามารถมีอิทธิพลต่อการลดลงของความเข้มข้นของสารจีออสมินและการเพิ่มปริมาณของธาตุไนโตรเจนให้สูงยังช่วยป้องกันสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินจากแพลงก์ตอนพืชตัวอื่น การเติมปุ๋ยในบ่อน้ำกร่อยโดยใช้ปุ๋ยอัตรา 15-30 กิโลกรัมของธาตุไนโตรเจนในรูปปุ๋ยยูเรีย และ 1 กิโลกรัมของธาตุฟอสฟอรัสต่อสัปดาห์จะช่วยลดปริมาณของแพลงก์ตอนพืชสกุล *Anabaena* ที่สร้างสารจีออสมิน และป้องกันการบลูมของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินในบ่ออีกด้วย

Van der ploeg (1989) แต่ส่วนใหญ่เกษตรกรมักจะใช้วิธีการเคลื่อนย้ายปลาไปบ่ออื่นซึ่งเป็นอีกวิธีหนึ่งสำหรับการลดสารประกอบจีออสมิน และเอ็มไอบีในตัวปลา โดยการย้ายจากบ่อเลี้ยงเดิมไปบ่อเลี้ยงที่ปราศจากสารประกอบเหล่านี้ ในปลากลุ่มปลาหนังจะมีกลิ่นโคลนในปริมาณที่สูงต้องใช้เวลาในการลดกลิ่นโคลนในน้ำสะอาดหลายวันจนกว่าความเข้มข้นของกลิ่นโคลนจะลดลงส่งผลต่อการขนส่งทำให้ล่าช้า และวิธีการนี้ไม่ควรทำการย้ายในช่วงฤดูร้อนเพราะจะทำให้ปลาเกิดความเครียด อัตราการรอดต่ำ เสี่ยงต่อการเป็นโรค ถ้าเป็นไปได้ควรมีการเคลื่อนย้ายปลาอย่างรวดเร็ว และมีการให้อากาศระหว่างการขนย้าย Robertson *et al.* (2005) รายงานว่าการลดลงของสารจีออสมินในปลาเทร้าท์ได้รับในระดับกลาง มาก และน้อยที่สุดที่มีการเลี้ยงใน

อุณหภูมิ 14.5 องศาเซลเซียส จะมีการลดลงอย่างต่อเนื่องในระยะเวลา 24 ชั่วโมงที่ไม่ได้รับอาหาร โดยมีค่าเท่ากับ 1.08±0.09, 1.31±0.21 และ 2.05±0.24 ไมโครกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ

Gobas and Mackay (1987) รายงานว่าปลาเทร้าท์หลังจากสัมผัสสารจีออสมินเป็นระยะเวลา 1, 2, 4 และ 15 วัน พบว่าปลาเทร้าท์มีสารจีออสมินลดลงอย่างต่อเนื่องและมีความเข้มข้นน้อยลงเมื่อผ่านไป 15 วัน โดยวิธีการทางชีวภาพมักนิยมนำมาใช้ทั้งการบำบัดในน้ำดื่มและการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้เช่นกัน ส่วนการลดสารจีออสมินและเอ็มไอบีในผลิตภัณฑ์ปลานิลแปรรูป Mohsin *et al.* (1999) รายงานว่าการใช้สารละลายใสจากเถ้าของใบกล้วย 5 เปอร์เซ็นต์ ล้างเนื้อปลาหมอเทศแล่นาน 5 นาที จะมีผลในการลดกลิ่นโคลนลงได้อีกทั้งยังให้ผลดีในเรื่องสีและเนื้อสัมผัสอีกด้วยนอกจากนี้การใช้วิธีอื่น ๆ ในกระบวนการแปรรูป เช่น การรมควันปลากดอเมริกัน และปลาเรนโบว์เทร้าท์ให้อยู่ในรูปกึ่งสุกก็สามารถลดกลิ่นโคลนลงจนเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคได้ หรือการแปรรูปปลาเรนโบว์เทร้าท์ให้อยู่ในรูปกึ่งสุกโดยใช้ไอน้ำ และเติมน้ำมันพืชก่อนที่จะบรรจุกระป๋องก็สามารถกำจัดกลิ่นโคลนได้ (Lovell, 1976)

Saadoun and Migdadi (1998) รายงานว่าการใช้แบคทีเรียแกรมบวกในการลดสารจีออสมินที่ผลิตมาจากแบคทีเรีย *Streptomyces halstedii* (A-1 strain) โดยแบ่งระยะเวลาในการใช้แบคทีเรียแกรมบวกเป็น 15, 45 และ 120 นาที พบว่าแบคทีเรียแกรมบวกสายพันธุ์ *Bacillus cereus* ssp. Thuringiensis HD-1, *B. cereus* 3711 และ *B. cereus* ssp. Mycoides 4379 ไม่มีผลต่อการลดสารจีออสมิน แต่ในสายพันธุ์ *Arthrobacter atrocyaneus*, *A. globiformis*. Chlorophenolicus N-1053 และ *Rhodococcus maris* มีปฏิกิริยาเชิงบวกสามารถกำจัดสารจีออสมินได้

Izaguirre *et al.* (1988) ได้รายงานว่าการกำจัดสารเอ็มไอบีโดยการใช้แบคทีเรียที่แยกได้ในแหล่งน้ำโดยพบว่าเป็นสายพันธุ์ *Pseudomonas* sp. ใช้สารเอ็มไอบีเป็นแหล่งคาร์บอนช่วยในการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย 1-6.7 มิลลิกรัม/ลิตร และมีไอโซโบนิวซึ่งเป็นโครงสร้างที่ได้จากสารเอ็มไอบีในความเข้มข้น 20-40 มิลลิกรัม/ลิตร การกำจัดจะสมบูรณ์มากยิ่งขึ้นเมื่อผ่านไปแล้ว 5 วันหรือมากกว่า 2 อาทิตย์ และสารเอ็มไอบีจะถูกกำจัดไป 12-20 มิลลิกรัม/ลิตร/เดือน โดยคาดว่าไอโซโบนิวจะเป็นตัวที่เพิ่มกลุ่มเมทธิลในโครงสร้างสารเอ็มไอบีทำให้มีการเปลี่ยนโครงสร้างที่ผิดไปเช่นเดียวกับแบคทีเรียแกรมลบ เช่น *Sphingopyxis alaskensis*, *Novosphingobium stygiae*, *Pseudomonas veronii* ที่แยกได้จากคอลัมน์กรองทรายซึ่งใช้สารจีออสมินเป็นแหล่งคาร์บอนในอัตรา 40-20 มิลลิกรัม/ลิตร แต่ยังไม่ได้วัดถึงประสิทธิภาพของแต่ละตัวหรือรวมกันทั้ง 2 ชนิด (Hoefel, 2006)

วรพงษ์ (2545) ได้ทำการศึกษาการกำจัดกลิ่นโคลนในเนื้อปลานิลเมื่อนำปลาที่ผ่านการดูดซึมสารประกอบจีออสมินมาทำการกำจัดกลิ่นโคลนออกด้วยการแช่ล้างในสารละลาย 4

ชนิด คือ กรดอะซิติก เถ้าจากใบกล้วยน้ำว้า แคลเซียมไฮดรอกไซด์ และเกลือแกง พบว่าสารละลายทุกชนิดสามารถลดกลิ่นโคลนในเนื้อปลาลงได้โดยเฉพาะการแช่ล้างด้วยสารละลายเถ้าจากใบกล้วยน้ำว้า และสารละลายเกลือแกง ที่ระดับความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 5 นาที สามารถลดสารจีออสมินลงได้ประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ (ตาราง 6) แต่การทดลองครั้งนี้ พบว่าการแช่ล้างชิ้นเนื้อปลาด้วยสารละลายทุกชนิดมีผลให้ลักษณะเนื้อสัมผัสและค่าสีแตกต่างกัน จากชิ้นเนื้อที่ไม่ผ่านการแช่ล้างด้วยสารละลาย โดยพบว่าชิ้นเนื้อที่แช่ล้างด้วยสารละลายเถ้าจากใบกล้วยน้ำว้าและเกลือแกงมีลักษณะที่แข็งขึ้น ส่วนชิ้นเนื้อปลานิลที่แช่ล้างด้วยสารละลายกรดอะซิติกและแคลเซียมไฮดรอกไซด์มีลักษณะที่นิ่มลงส่วนค่าสีพบว่าสารละลายทุกชนิดมีผลให้ชิ้นเนื้อมีค่าความสว่างเพิ่มขึ้นในขณะที่ค่าสีแดงและค่าสีเหลืองกลับลดลง

ตาราง 6 เปอร์เซ็นต์การลดของสารจีออสมินตามปริมาณความเข้มข้นของกรดอะซิติก เถ้าใบกล้วย แคลเซียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมคลอไรด์ ในระยะเวลา 5 นาที สำหรับการลดกลิ่นในเนื้อปลานิล

(%) ความเข้มข้น	สารละลายที่ใช้ล้างเพื่อบำบัดกลิ่น							
	กรดอะซิติก		เถ้าจากใบกล้วยน้ำว้า		แคลเซียมไฮดรอกไซด์		โซเดียมคลอไรด์	
	(%) การลด GSM	ค่าเฉลี่ย GSM (µg/kg)	(%) การลด GSM	ค่าเฉลี่ย GSM (µg/kg)	(%) การลด GSM	ค่าเฉลี่ย GSM (µg/kg)	(%) การลด GSM	ค่าเฉลี่ย GSM (µg/kg)
0	23.3	76.2 ± 0.2^{a1}	23.3	76.2 ± 0.2^{a1}	23.3	76.2 ± 0.2^{a1}	23.3	76.2 ± 0.2^{a1}
5	83.7	12.4 ± 0.1^{b1}	90.0	7.7 ± 0.1^{bc3}	85.6	11.0 ± 0.1^{b2}	90.1	7.5 ± 0.3^{bc3}
8	89.5	8.0 ± 0.1^{c1}	95.9	73.2 ± 0.1^{c3}	90.9	6.9 ± 0.1^{bc2}	95.8	3.2 ± 0.0^{c3}

ที่มา: วรพงษ์ (2545)

การลดปริมาณสารจีออสมิน และเอ็มไอบีโดยใช้โอโซน โดยปริมาณของการใช้โอโซนที่จะตอบสนองกับเอ็มไอบีและจีออสมินจะมีความแตกต่างกันไปตามลักษณะคุณภาพน้ำ (ตาราง 7)

ตาราง 7 การลดลงของสารเอ็มไอบีและจีออสมินจากการ ozonation จากแหล่งน้ำต่าง ๆ

น้ำดิบ	โดส O_3 (mg/l)	% การลดเอ็มไอบี	% การลดจีออสมิน	อ้างอิง
Distilled water	2	15-30	15-30	(Lalezary *et al.*, 1986)
	33	50	50	
Surface water spiked with 50 ng/l of MIB and geosmin	1.5	35-95	35-95	(Lundgren *et al.*, 1988)
	7	> 95	> 95	
Methopolitan Water District of Southern California & Colorado River water	4	75- > 99	75- > 99	(Glaze *et al.*, 1990)
	2	40	35	
	4	78	89	

Pei (2003) ศึกษาการลดของเอ็มไอบีและจีออสมินระหว่างโอโซน-ตัวกรองชีวภาพพบว่าปริมาณของโอโซนที่เพิ่มขึ้นจะสามารถลดเอ็มไอบีและจีออสมินโดยจีออสมินจะลดลงได้น้อยว่าเอ็มไอบี

Ho (2004) ได้ศึกษาการลดเมทาบอลิซึมของไซยาโนแบคทีเรียจากน้ำดื่มโดยการใช้โอโซน และ granular activated carbon พบว่าในการใช้โอโซนเพื่อกำจัดเอ็มไอบีในแหล่งน้ำธรรมชาติ โดยใช้เอ็มไอบีตั้งต้นที่ความเข้มข้น 100 นาโนกรัม/ลิตร และใช้โอโซนที่ระดับ 1, 2 และ 5 ไมโครกรัม/ลิตร ที่ระยะเวลาสัมผัส 5 นาที พบว่าสามารถทำลายโครงสร้างเอ็มไอบีได้

Dew (2005) ได้ศึกษาการใช้โอโซนในการลดกลิ่นโคลนในปลาแคทฟิช พบว่าโอโซนสามารถลดกลิ่นโคลนได้ 10.88% และ 48.59% โดยทำการเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ทำการทดลองที่เวลา 30 และ 60 นาที ตามลำดับ

สุปราณี (2552) ได้ศึกษาผลของโอโซนต่อแพลงก์ตอนพืชและคุณภาพน้ำ พบว่าหลังจากผ่านการให้อากาศและโอโซนที่ความเข้มข้น 800 ppm ที่เวลา 0, 30, 60, 120 และ 180 นาที โอโซนทำให้ปริมาณเซลล์แพลงก์ตอนพืช และคลอโรฟิลล์ เอ ลดลง และศึกษาการใช้โอโซนในการลดปริมาณแบคทีเรียแอคติโนมัยซีสในน้ำและดินโดยการนำตัวอย่างดินมาผ่านการให้อากาศและโอโซนที่เวลา 0, 30, 60, 120 และ 180 นาที พบว่าสามารถลดปริมาณแบคทีเรียแอคติโนมัยซีสในน้ำได้และศึกษาการใช้โอโซนในการลดปริมาณสารที่ก่อให้เกิดกลิ่นโคลนในน้ำจากบ่อเลี้ยงปลานิล พบว่าการให้โอโซนที่เวลา 60 นาที สามารถลดปริมาณสารจีออสมินในน้ำ 55.85±2.91 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่สามารถลดปริมาณสารเอ็มไอบีทั้งในน้ำและดิน

พารามิเตอร์ทางด้านคุณภาพน้ำ

ปลานิล Tilapia เป็นปลาที่มีความทนทานได้ดีในสภาวะแวดล้อมหลาย ๆ ปัจจัย เช่น ความเค็ม แอมโมเนียในน้ำที่มีความเข้มข้นสูง ออกซิเจนที่ละลายในน้ำลดลง อุณหภูมิน้ำที่สูงขึ้น แต่มีขอบเขตจำกัดเมื่ออุณหภูมิของน้ำลดต่ำลง ปลานิลในสกุล *Oreochromia* spp. ที่อาศัยในน้ำเมื่อระดับความเค็มและอุณหภูมิในน้ำลดต่ำลงส่งผลให้ปลาที่อาศัยในน้ำต้องมีการเปลี่ยนแปลงหน้าที่ รวมถึงกิจกรรมต่าง ๆ ปลานิลวัยอ่อนในสกุล Mozambique มีความทนทานได้ดีกว่าในกลุ่มที่ตัวเต็มวัยในสภาพที่สิ่งแวดล้อมเกิดความแปรปรวน เช่น อุณหภูมิ และระดับปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลง (Caulton and Hill 1973, 1975; Bruton and Boltt 1975; Perez and Maclean 1975; Caulton 1978)

อุณหภูมิน้ำ (Water Temperature)

อุณหภูมิน้ำมีอิทธิพลต่อปลา Balarin and Haller (1982), Chervinski (1982), Philippart and Ruwet (1982), and Wohlfarth and Hulata (1983) โดยปกติปลานิลจะอาศัยได้ดีในอุณหภูมิน้ำระหว่าง 28-35 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิลดต่ำลงที่ 20 องศาเซลเซียสส่งผลกระทบทำให้ปลาไม่สืบพันธุ์และเมื่ออุณหภูมิลดต่ำลงที่ 10-15 องศาเซลเซียสส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโต เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นถึง 42 องศาเซลเซียสหรือใกล้เคียงอาจทำให้ปลาตายได้ และระดับต่ำสุดที่ 8-12 องศาเซียสเซียสทำให้ปลาตายได้เช่นกัน อุณหภูมิปกติที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลานิลอยู่ระหว่าง 29-31 องศาเซลเซียส หากอุณหภูมิต่ำกว่า 16 องศาเซลเซียส ทำให้ปลาเจริญเติบโตไม่ดี (Stickney, 1986 อ้างโดย William and Thomas, 2006) เมื่อให้อาหารปลากินจนอิ่มวันละ 3 เวลา ที่อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส การเจริญเติบโตของปลาดี และการกินอาหารสูงสุด 50-60 เปอร์เซ็นต์เท่านั้นแต่จะสูงกว่าที่อุณหภูมิ 26 องศาเซลเซียส มีรายงานว่าปลานิลสามารถทนต่ออุณหภูมิสูงถึง 40 องศาเซลเซียส อาจส่งผลต่อการชักนำให้เกิดความเครียด โรค และอุณหภูมิสูงกว่า 37 หรือ 38 องศาเซลเซียส ทำให้ปลาตาย (Wohlfarth and Hulata, 1983)

ในอุณหภูมิ 17-18 องศาเซลเซียส ทำให้ปลาเกิดความเครียด เกิดแผล และอาจตายได้ ปลานิลในสกุล *Oreochromis mosambicus* มีความอดทนต่ออุณภูมิในช่วงกว้าง แต่ปลานิลในเขตร้อนจะมีการทนต่ออุณหภูมิจำกัด อุณหภูมิ 20-35 องศาเซลเซียส เป็นช่วงที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิต และอุณหภูมิ 25-36 องศาเซลเซียสเหมาะสมต่อการสืบพันธุ์ของปลานิลในสกุล Mozambique ในแอฟริกาใต้จะมีการอพยบย้ายถิ่นตามช่วงฤดูกาลไปยังทะเลสาบน้ำจืด เช่นในทะเลสาบ Sabaya ในเดือนที่มีอากาศหนาวจัด ปลาที่โตเต็มวัยยังคงอาศัยในน้ำลึกห่างจากฝั่งออกไป

จนกระทั่งน้ำเริ่มอบอุ่นและเคลื่อนที่ไปยังทะเลสาบต่อไป (Bruton and Boltt, 1975) ในแต่ละวันปลาจะเคลื่อนที่จากแหล่งน้ำตื้นที่อบอุ่นระหว่างวันในตอนกลางคืนจะเคลื่อนที่กลับสู่น้ำลึก

ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen)

ในบ่อเลี้ยงปลาที่มีระบบการเลี้ยงแบบหนาแน่นอาจมีขีดจำกัดทางด้านคุณภาพน้ำเป็นอันดับต้น ๆ เป็นประจำ ได้แก่ ออกซิเจนที่ละลายในน้ำลดต่ำลง (DO) ตามปกติทั่วไปการเลี้ยงปลานิลต้องรักษาระดับ DO ไม่ให้ต่ำกว่า 0.5 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งระดับนี้มีความเกี่ยวข้องต่อการอดทนสำหรับการเพาะเลี้ยงปลาชนิดอื่น ๆ เช่นกัน มีรายงานว่าปลาสกุล Moxambique และ Nile Tilapia มีชีวิตรอดที่ DO ต่ำกว่า 0.1 มิลลิกรัม/ลิตร (Stickney, 1986a) เนื่องจากปลานิลมีความสามารถในการใช้ออกซิเจนที่อยู่บนผิวน้ำจึงสามารถทนต่อ DO ที่ต่ำกว่า 0.1 มิลลิกรัม/ลิตร โดยทางสรีรวิทยาของปลานิลจะมีการปรับตัวต่อการใช้ประโยชน์จากออกซิเจนที่เหมาะสมเมื่อระดับออกซิเจนในสิ่งแวดล้อมอยู่ในระดับต่ำ ฮีโมโกลบินในเลือดอิ่มตัวที่ระดับแรงดันออกซิเจนต่ำและมีการลดลงอย่างรวดเร็วที่เนื้อเยื่อจะมีประสิทธิภาพกว่าในกลุ่มสัตว์มีกระดูกสันหลังชนิดอื่น ๆ (Balarin and Haller, 1982)

ปลานิลมีความสามารถในการมีชีวิตในระดับ DO ที่ลดลงเกินกว่า 2 มิลลิกรัม/ลิตร เพราะว่าการเจริญเติบโตและเมทาบอลิซึมที่ยืดระยะเวลาให้ลดลง บ่อยครั้งที่ระดับออกซิเจนลดต่ำลงส่งผลให้ปลาเกิดความเครียด ลดการต้านทานต่อโรค (Teichert Coddington and Green, 1993) โดยทั่วไปปลานิลสกุล *O. mossambicus* มีความทนต่อคุณภาพน้ำไม่ดี แต่ความทนทานเป็นผลมาจากอุณหภูมิและอายุของปลา ส่วน (Kutty, 1972) พบว่าปลานิลสกุล Mozambique สามารถรักษาระดับการหายใจ respiratory quotient (RQ) ในน้ำจืดที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสที่เต็มไปด้วยความเข้มข้นของออกซิเจนโดยที่ความเข้มข้นของออกซิเจนระดับต่ำ (ต่ำกว่า 0.2 มิลลิกรัม/ลิตร) RQ เพิ่มขึ้นถึง 8.0

การบริโภคออกซิเจนสำหรับปลานิลสกุล Mozambique เท่ากับ

$Q = 0.407W^{0.73}$ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

$Q = 0.262W^{0.74}$ ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

ซึ่งการบริโภคออกซิเจนวัดได้ในหน่วย มิลลิลิตร/ชั่วโมง และน้ำหนักเปียกของปลา (W) มีหน่วยเป็นกรัม (grams) (Mironova, 1975, 1976) ปลานิล Nile Tilapia ใช้ออกซิเจนระหว่าง 100-300 กรัม โดยใช้ออกซิเจนที่ค่าระหว่าง 0.5-0.7 มิลลิกรัม/ชั่วโมง (Balarin and Haller, 1982) มีความสัมพันธ์ดังนี้

การบริโภคออกซิเจน $(mg.kg^{-1}h^{-1}) = 2.115W^{-0.61}$

เมื่อน้ำหนักเป็นกรัม (Job, 1969) ได้สาธิตและแสดงหน้าที่ของเมทาบอลิซึมของอุณหภูมิถึงจุดสูงสุดที่ 30 องศาเซลเซียส การหายใจอย่างอิสระของออกซิเจนที่ละลายในน้ำระหว่าง 15-30 องศาเซลเซียสจนกระทั่ง partial pressure ของออกซิเจนลดลงที่ 50 mmHg จนถึงจุดอิ่มตัว ซึ่งมีค่า equivalent 30 เปอร์เซ็นต์ (Josman, 1971) เมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียสจะเกิดการค่อย ๆ ลดลงของ metabolic rate

ความเป็นกรด-ด่าง (Hydrogen Ion Concentration) (pH)

ปลานิลมีการเจริญเติบโตในน้ำที่ใกล้เคียงธรรมชาติหรือมี alkaline เล็กน้อย ความเป็นกรดด่างไม่ส่งผลกระทบมากนักต่อผลผลิตปลานิล แต่ระดับความเป็นกรด-ด่างที่ระดับ 11-12 ทำให้ปลาตายได้ โดยปกติปลานิลสามารถทนต่อค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำประมาณ 5 ที่ระดับค่าความเป็นกรดด่าง 3.7 และ 10.3 ทำให้ปลานิลสกุล Mozambique ตายได้และมีความเป็นไปได้มากที่ปลาตายเป็นผลมาจากระดับของคาร์บอนไดออกไซด์อิสระที่ระดับ pH ต่ำกว่าปฏิกิริยาของกรด ค่าคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่าง 50 และ 100 มิลลิกรัม/ลิตร ส่งผลต่อความลำบากและยืดเวลา อันตรายถึงตาย Balarin and Haller, 1982 (อ้างโดย William and Thomas, 2006) ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีผลต่อประสิทธิภาพของออกซิเจนในฮีโมโกลบินที่แรงดึงออกซิเจนระดับต่ำลง ในน้ำที่มีความเป็นกรดทำให้ลดการเจริญเติบโต (เป็นไปได้เนื่องจากผลผลิตและอาหารสิ่งมีชีวิตในธรรมชาติลดน้อยลง) ช่วงกลางวันค่า pH มีการเปลี่ยนแปลงซึ่งมีสาเหตุจากการสังเคราะห์แสงแต่ในช่วงเย็นระดับ pH สามารถเข้าใกล้ระดับ 10 ซึ่งเป็นบัฟเฟอร์ในน้ำได้ แต่หากในน้ำมีค่าความเป็นด่าง (alkalinity) ในระดับสูงส่งผลให้ pH มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย (Boyd, 1990) ส่วน Uchida and King (1962) รายงานว่าระดับของคาร์บอเนตระหว่าง 2.4-80.6 มิลลิกรัม/ลิตร และระดับของไบคาร์บอเนตระหว่าง 2.14-15.2 มิลลิกรัม/ลิตร ในบ่อเลี้ยงปลานิลสกุล Mozambique พบว่า Tilapia มีความทนทานต่อค่าความเป็นด่างทั้งหมดในระดับ 700-3,000 มิลลิกรัม/ลิตร

แอมโมเนีย (Ammonia)

ความเป็นพิษของแอมโมเนียมีความสัมพันธ์มากกับค่า pH และ มีขอบเขตน้อยกว่าสำหรับอุณหภูมิน้ำและความเข้มข้นของออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ความเป็นพิษของแอมโมเนียสามารถเพิ่มค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำให้ลดลง แต่อย่างไรก็ตามในบ่อเลี้ยงปลาที่มีความสมดุลมากโดยการลดลงของความเป็นพิษของแอมโมเนียเป็นผลมาจากการเพิ่มความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ และทำให้ pH ลดลง เช่นเดียวกับที่ pH เพิ่มขึ้นเกินกว่าความเป็นกลาง (pH=7)

การเปลี่ยนแปลงของแอมโมเนียจำนวนมากโดยการเปลี่ยนจากรูปแบบไอออน (NH_4^+) ไปเป็นพิษในรูปแบบที่ไม่มีไอออน (NH_3) ในรูปแบบของก๊าซ ความเข้มข้นของแอมโมเนียจะเพิ่มขึ้นพร้อมกับอุณหภูมิที่สูงขึ้น

(Soderberg, 1997 อ้างโดย William and Thomas, 2006) แต่แอมโมเนียมีความเป็นพิษสูงที่อุณหภูมิสูงขึ้นในรูปแบบที่ไม่มีไอออนที่อุณหภูมิ 24-32 องศาเซลเซียส ที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 7 ต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณแอมโมเนียทั้งหมดเป็นพิษในรูปแบบที่ไม่มีไอออนที่ pH เท่ากับ 8 ค่าประมาณ 5-9 เปอร์เซ็นต์เป็นรูปแบบที่ไม่มีไอออนที่ pH เท่ากับ 9 ระหว่าง 30 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ที่ pH 10 จาก 80-90 เปอร์เซ็นต์อยู่ในรูป NH_3 ดังนั้นความเป็นพิษของแอมโมเนียเป็นปัญหามากสำหรับในบ่อเลี้ยงที่มีบัฟเฟอร์ต่ำหรือไม่มี (ค่าความเป็นด่าง alkalinity ต่ำกว่า 30 มิลลิกรัม/ลิตร $CaCO_3$) ในช่วงเย็นเป็นไปได้ที่ระดับ pH อยู่ในระดับ 9-10 ผลทางลบของความเข้มข้นแอมโมเนียในรูปที่ไม่มีไอออนในระดับสูงและเมื่อไรที่ pH ในบ่อเข้าใกล้จุดสูงสุดต้องทำให้ค่า pH ต่ำลงมาถึงระดับกลางในระหว่างช่วงเย็น

ความขุ่น (Turbidity)

ปลานิลสกุล Mozambique มีความทนทานต่อสภาพความขุ่นและเจริญเติบโตดีในแม่น้ำที่มีความขุ่นชื่อว่าพองโกล่า (Pongola) ในแอฟริกาใต้ (Bardach *et al.*, 1972) โดยถิ่นกำเนิดของปลานิลโดยธรรมชาติอยู่ที่ชายฝั่งแม่น้ำของแอฟริกาตะวันออกเฉียงใต้จึงทำให้ปลานิลมีความทนทานต่อความขุ่นได้ดี โดยทั่วไปปลานิลมีการแพร่กระจายในบริเวณที่เต็มไปด้วยโคลน ส่วน Balarin and Haller (1982) รายงานว่า Tilapia ทนต่อความขุ่นสูงกว่า 13,000 มิลลิกรัม/ลิตร แต่อย่างไรก็ตามความขุ่นจะลดการผ่านทะลุของแสงจึงส่งผลกระทบต่อผลผลิตในน้ำเบื้องต้นคล้ายกับปลาตระกูล Cichlid ใน Tilapia การอพยพของปลาวัยอ่อนและปลาที่โตเต็มวัยมีความแข็งแรงสามารถไปยังอีกบริเวณได้ ส่วนการมองเห็นมีความสำคัญสำหรับปฏิกิริยาของความขุ่นระดับความขุ่นสูงสามารถทำให้การมองเห็นลดลง

ไนไตรท์ (Nitrite)

ไนไตรท์ทำปฏิกิริยากับฮีโมโกลบินได้เมทธิโมโกลบินซึ่งไม่สามารถขนถ่ายออกซิเจนได้ ปลาที่ได้รับไนไตรท์จึงมีเมทธิโมโกลบินในเลือด ซึ่งเห็นได้เป็นสีน้ำตาล ปลาที่มีอาการเช่นนี้ไม่สามารถมีชีวิตอยู่ได้เนื่องจากไม่สามารถใช้ออกซิเจน การสะสมตัวของไนไตรท์เชื่อว่าเกิดจากความสมบูรณ์ของปฏิกิริยาไนตริฟิเคชั่น (nitrification) บ่อปลาอาจพบไนไตรท์ได้สูงถึง 0.5-5 มิลลิกรัม/ลิตร (มั่นสิน และ ไพพรรณ, 2536)

สารประกอบฟอสฟอรัส (Phosphorus)

สารประกอบฟอสฟอรัสที่พบในแหล่งน้ำมีอยู่ 2 รูปแบบ (Boyd, 1990) คือ

1. สารประกอบพวกอินทรีย์ฟอสเฟต (organic phosphates) ได้แก่สารประกอบฟอสฟอรัสที่เกิดจากกระบวนการทางชีวะและฟอสฟอรัสที่รวมอยู่กับสารอินทรีย์ต่าง ๆ เช่น โปรตีนคาร์โบไฮเดรต เป็นต้น รวมทั้งฟอสฟอรัสที่รวมอยู่กับซากพืชหรือสัตว์ โดยสัดส่วนของฟอสฟอรัสแต่ละรูปที่อยู่ในแหล่งน้ำจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ความเป็นกรดเป็นด่าง ความเข้มข้นของอิออนของโลหะบางชนิด เช่น แคลเซียมอิออน (Ca^{2+}) และอะลูมิเนียมอิออน (Al^{3+}) ค่าออกซิเดชันรีดักชัน ภาวะการถูกรบกวนของตะกอนพื้นบ่อ ตลอดจนมลภาวะของแหล่งน้ำ

2. สารประกอบพวกอนินทรีย์ฟอสเฟต (inorganic phosphates) เป็นสารประกอบฟอสเฟตที่พบในแหล่งน้ำธรรมชาติทั่ว ๆ ไป ซึ่งได้รับมาจากน้ำทิ้งจากกิจกรรมต่าง ๆ แบ่งได้เป็นสารประกอบออร์โธฟอสเฟต (orthophosphates) ได้แก่สารประกอบพวก PO_4^{-3}, HPO_4^{-2} และ $H_2PO_4^{-}$ สารประกอบเหล่านี้ละลายน้ำได้ดี และแพลงก์ตอนพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ สารประกอบออร์โธฟอสเฟตบางครั้งอาจ เรียกว่า soluble reactive phosphorus ซึ่งได้จากการแตกตัวของกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) ตามปฏิกิริยาในสมการที่ (7), (8) และ (9) ซึ่งถือว่ามีความสำคัญทางการประมง สารประกอบฟอสฟอรัสอีกอย่างหนึ่งคือ โพลีฟอสเฟต (polyphosphates) พบในน้ำทิ้งจากบ้านเรือนที่อยู่อาศัยเนื่องจากเป็นส่วนผสมของผงซักฟอก สารประกอบพวกโพลีฟอสเฟตสามารถเปลี่ยนมาเป็นสารออร์โธฟอสเฟตได้ โดยขบวนการไฮโดรไลซิสเมื่ออยู่ในน้ำ และถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นหรือพีเอชลดลงจะช่วยให้เกิดปฏิกิริยาดังกล่าวได้เร็วขึ้น

สมการที่ (7)-(9) แสดงการแตกตัวของสารประกอบฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำ

$$H_3PO_4 \longrightarrow H^+ + H_2PO_4^- \quad \text{.....(7)}$$

$$H_2PO_4^- \longrightarrow H^+ + HPO_4^{2-} \quad \text{.....(8)}$$

$$HPO_4^{2-} \longrightarrow H^+ + PO_4^{3-} \quad \text{.....(9)}$$

การขับถ่ายฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสในรูปที่ละลายน้ำจะมีผลต่อคุณภาพน้ำโดยตรงขณะที่ฟอสฟอรัสในรูปที่ไม่ละลายน้ำจะสะสมอยู่ในดินตะกอนจะมีการปล่อยฟอสฟอรัสออกมาอย่างช้า ๆ ในแหล่งน้ำทั่วไปพบฟอสฟอรัสในปริมาณน้อยมากเนื่องจากฟอสฟอรัสอยู่ในรูปแบบที่ละลายน้ำได้น้อย นอกจากนี้ในสภาพที่เป็นด่างสูงฟอสฟอรัสจะตกตะกอนกับแคลเซียมได้ง่ายขณะที่ความเป็นกรดสูงจะทำให้ฟอสฟอรัสตกตะกอนกับอะลูมิเนียมได้ง่าย ดังนั้นแหล่งของฟอสฟอรัสที่สำคัญในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ ได้จากอาหารสัตว์น้ำ ปุ๋ย รวมทั้งดินพื้นบ่อเก่าที่มีฟอสฟอรัสสะสมอยู่มาก ในบ่อที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยหรืออาหารสัตว์น้ำเป็นแหล่งใหญ่สุดที่ให้ฟอสฟอรัสแก่น้ำหากมีมากจะก่อให้เกิด

ผลกระทบต่อคุณภาพน้ำได้ โดยฟอสฟอรัสนี้จะเป็นปัจจัยหลักที่ก่อให้เกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (De silva and Anderson, 1995) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่แหล่งน้ำมีความอุดมสมบูรณ์มากเกินไป จนทำให้เกิดการบลูมของแพลงก์ตอนพืชอาจส่งผลเสียต่อคุณภาพน้ำ ในแหล่งน้ำที่มีปัญหามลภาวะจะมีค่าฟอสฟอรัสเกินกว่า 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ในการควบคุมป้องกันปัญหาเสื่อมโทรมของแหล่งน้ำได้กำหนดไว้ว่าไม่ควรมีค่าฟอสฟอรัสเกินกว่า 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยที่ปัญหาของแหล่งน้ำที่เกิดจากฟอสฟอรัส มักเกิดจากการที่แหล่งน้ำได้รับฟอสฟอรัสมากเกินไปทำให้แพลงก์ตอนพืชและพืชน้ำมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วและเมื่อสิ่งมีชีวิตเหล่านั้นตายลงจะเกิดการขาดออกซิเจนในบ่อเลี้ยงและทำให้เกิดน้ำเน่าเสียตามมา Lee (1973)

Lall (1991) ได้อธิบายว่าสารประกอบพวกอนินทรีย์ฟอสเฟตพบมากในแหล่งน้ำทั่วไปส่วนมากมีคุณสมบัติแตกตัวได้ง่าย และอยู่ในรูปอิสระละลายน้ำได้ดีทำให้นิยมใส่สมทบเป็นพรีมิกซ์ในอาหารปลาหรืออาหารสัตว์น้ำ เนื่องจากปลาหรือสัตว์น้ำสามารถย่อยและดูดซึมไปใช้ประโยชน์ได้มากเช่นเดียวกับแพลงก์ตอนพืชที่จะดูดซึมสารอนินทรีย์ฟอสเฟตในรูปออร์โธฟอสเฟต หรือ soluble reactive phosphorus ไปใช้ประโยชน์เป็นส่วนใหญ่ ฟอสฟอรัสในอาหารเมื่อผ่านกระบวนการย่อยและดูดซึมเก็บไว้ในตัวปลาแล้วส่วนที่เหลือจะถูกปลาขับออกมาสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกโดยปลาจะขับฟอสฟอรัสออกมากับยูรีน และมูลซึ่งจะอยู่ในรูปของฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำที่สะสมอยู่ในตะกอนซึ่งรูปแบบของฟอสฟอรัสในอาหารจะมีผลต่อปริมาณและรูปแบบฟอสฟอรัสที่ปลาขับถ่ายออกมา

คลอโรฟิลล์ เอ (Chlorophyll a)

คลอโรฟิลล์ เอ เป็นรงควัตถุที่พบในแพลงก์ตอนพืชทุกชนิดเป็นรงควัตถุสีเขียวที่มีความสำคัญในการสังเคราะห์แสง คลอโรฟิลล์ เอ มีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำแต่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ โดยปกติปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ที่พบในแพลงก์ตอนพืช มีประมาณร้อยละ 0.5-1.5 ของน้ำหนักแห้งและสามารถเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 6 ในแพลงก์ตอนพืชที่อยู่ในที่มีแสงอ่อน ๆ การวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ บอกถึงมวลชีวภาพของแพลงก์ตอนพืชและบอกความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำซึ่งแหล่งน้ำที่มีความอุดมสมบูรณ์น้อยจะพบปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ น้อยกว่า 4.7 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร แหล่งน้ำที่มีความอุดมสมบูรณ์ปานกลางพบปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ 4.7-14.3 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และแหล่งน้ำที่มีความอุดมสมบูรณ์มากปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ มากกว่า 14.3 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ จะแปรผันตามสภาพแวดล้อม ปริมาณแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำนั้น (นันทนา, 2536)

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการ

การทดลองที่ 1: ศึกษาผลของระบบการผลิต (การเลี้ยงปลานิลในกระชังและบ่อดิน) ต่อการสะสมกลิ่นโคลนในเนื้อปลานิล

การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design; CRD) โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 หน่วยทดลอง (Treatment) แต่ละหน่วยการทดลองมี 9 ซ้ำ (replication) ดังนี้

หน่วยการทดลองที่ 1 เลี้ยงปลานิลในกระชัง
หน่วยการทดลองที่ 2 เลี้ยงปลานิลในบ่อดิน

การเตรียมกระชังและบ่อดินทดลอง

เตรียมกระชังปลานิลโดยใช้อวนไนล่อนตาถี่ โดยใช้กระชังสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาดกระชัง 2.0×2.0×2.5 เมตร (กว้าง×ยาว×สูง) แขวนอยู่ในบ่อขนาดพื้นที่ 13.5 ไร่ ความลึก 6 เมตร จำนวน 9 กระชังโดยให้กระชังจมอยู่ในน้ำ 1.5 เมตร และติดตั้งกระชังโดยแขวนให้กระชังห่างกันประมาณ 1 เมตร โครงทำด้วยท่อเหล็กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว ใช้ถังพลาสติกเป็นทุ่นลอยกระชังแขวนลอยน้ำส่วนบ่อดินทดลองใช้บ่อดินขนาด 0.5-1 ไร่ จำนวน 9 บ่อ (ภาพ 6)

การเตรียมสัตว์ทดลอง

ปลานิลที่ทดลองมีน้ำหนักเฉลี่ย 35-40 กรัม จากฟาร์มเพาะเลี้ยงเอกชนในจังหวัดเชียงรายโดยอัตราปล่อยปลานิลในบ่อดิน 4 ตัว/ตารางเมตร ส่วนปลานิลที่เลี้ยงในกระชังทำการปล่อยที่ความหนาแน่นเฉลี่ย 60 ตัว/ลูกบาศก์เมตร

การให้อาหารและการจัดการระหว่างการเลี้ยง

ให้อาหารเม็ดสำหรับปลากินพืชทีมีระดับโปรตีน 30% วันละ 2 ครั้ง (เช้า-บ่าย) ทำการให้อาหารเม็ดสำเร็จรูปในปริมาณที่ปลากินจนอิ่ม

สถานที่และระยะเวลาทดลอง

ดำเนินการทดลองระบบการผลิต ณ บ่อเลี้ยงปลานิล ฟาร์มเอกชน อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย ตั้งแต่ เดือนกรกฎาคม - ตุลาคม 2552 เป็นระยะเวลา 4 เดือน

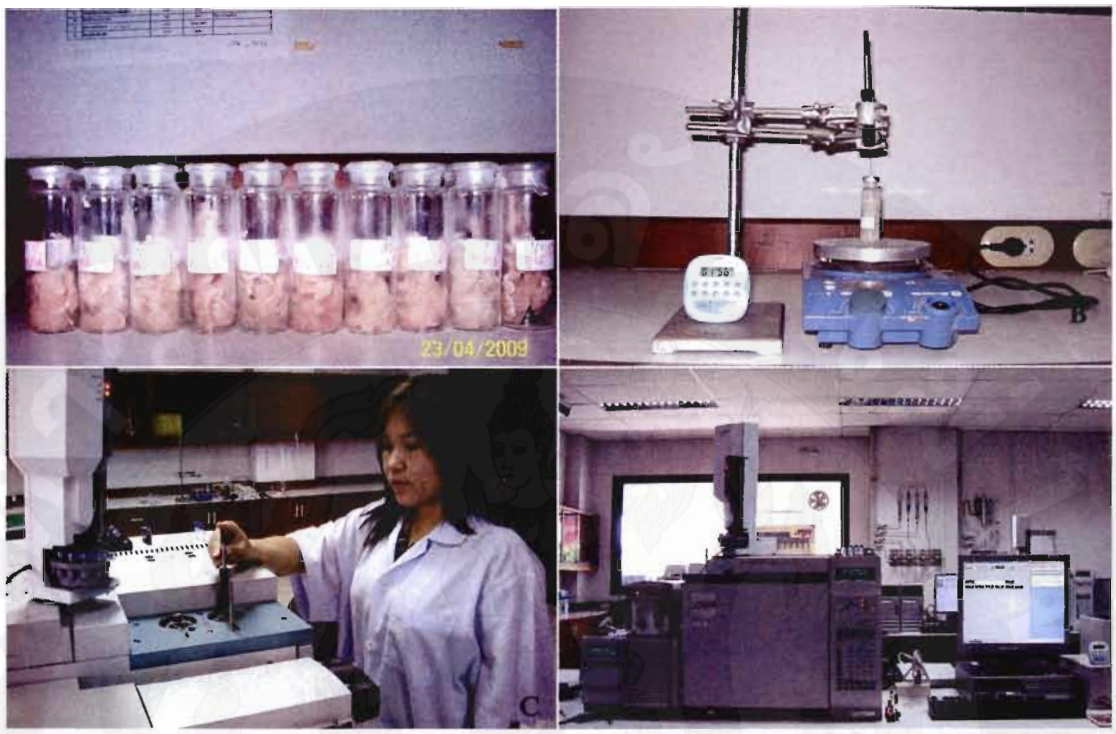
ภาพ 6 (A) บ่อทดลองระบบการผลิตปลานิลโดยการเลี้ยงปลานิลในกระชัง (B) บ่อดิน

การวิเคราะห์กลิ่นโคลนเนื้อปลานิลและในน้ำ

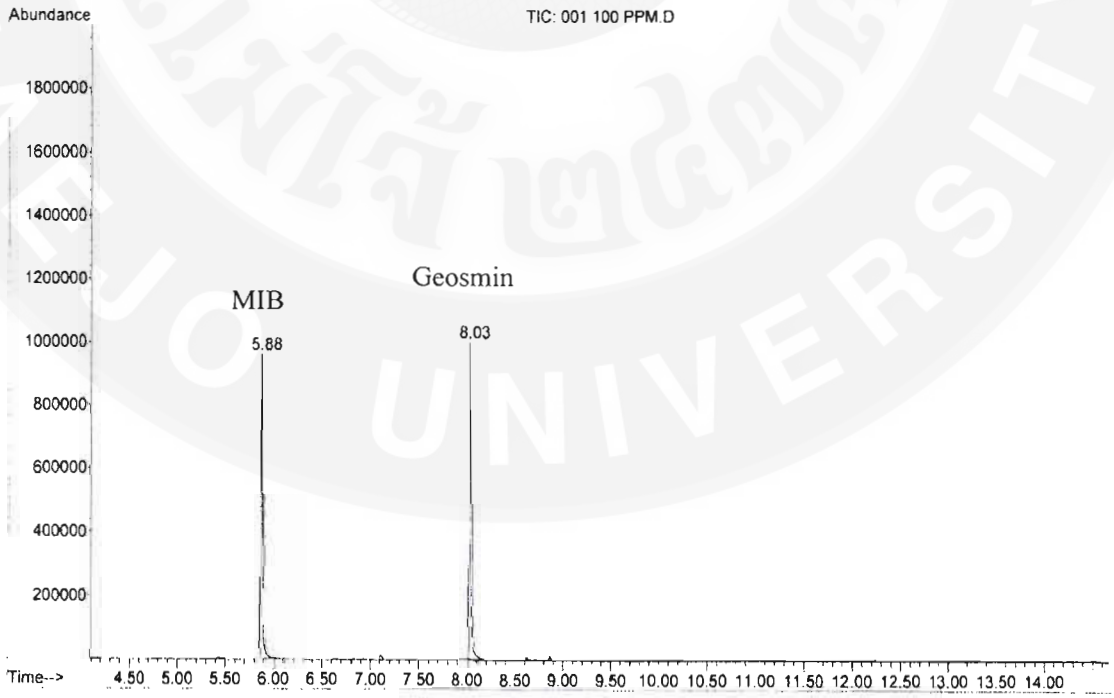
1. เก็บตัวอย่างปลานิล จำนวน 3 ตัว/บ่อ ตัวอย่างน้ำ จำนวน 1 ลิตร/บ่อ ทุก 30 วัน เพื่อนำมาวิเคราะห์กลิ่นโคลน (จีออสมิน และเอ็มไอบี) โดยเตรียมตัวอย่างเนื้อปลานิลที่ปั่นละเอียด 5 กรัมพร้อมกับเติมเมทธานอล 10 มิลลิลิตร ตัวอย่างน้ำ 10 มิลลิลิตร นำไปใส่ในขวดไวอัล (vial)

2. นำขวดไวอัลที่มีตัวอย่างน้ำและเนื้อปลาพร้อมวิเคราะห์ ทำการเติมโซเดียมคลอไรด์ 1.9 กรัม และ ใส่ magnetic bar จากนั้นปิดฝาด้วยจุกยางทนความร้อนสูงและฝาอะลูมิเนียม นำขวดไวอัลวางบนเครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า และถาดให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 65-70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที แล้วแทงเข็มไฟเบอร์ที่ประกอบเข้ากับอุปกรณ์ SPME เข้าไปในขวดตัวอย่างทิ้งไว้เป็นเวลา 12 นาที เพื่อให้ไฟเบอร์ทำการจับกับสารประกอบจีออสมิน และเอ็มไอบีในตัวอย่างน้ำและเนื้อปลานิล

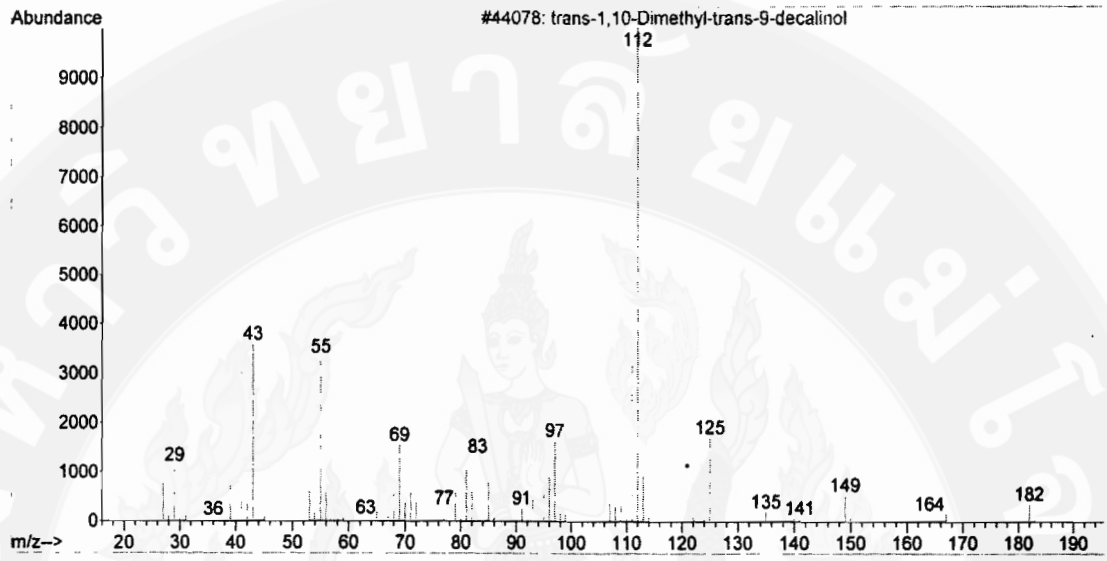
3. นำชุดอุปกรณ์ SPME ฉีดเข้ากับเครื่อง GC/MS (Agilent Technologies 6890 N Network GC system) เข้าไปตรงตำแหน่งที่ฉีดสารของเครื่อง โดยใช้ Splitless mode ผ่านแคบปิลารีคอลัมน์ (DB-DURABOND) HP-5 (30 m.×0.32 mm. μm. film thickness) ใช้แก๊สฮีเลียมเป็นตัวพาด้วยอัตรา 2.5 มิลลิลิตร/นาที อุณหภูมิของเตาอบ ตั้งโปรแกรมอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นเพิ่มเป็น 220 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราเร็ว 15 องศาเซลเซียส/นาที และคงอุณหภูมิไว้ที่ 220 องศาเซลเซียส นาน 8 นาที และทำการจดบันทึกผลจากเครื่อง GC/MS (ภาพ 7)



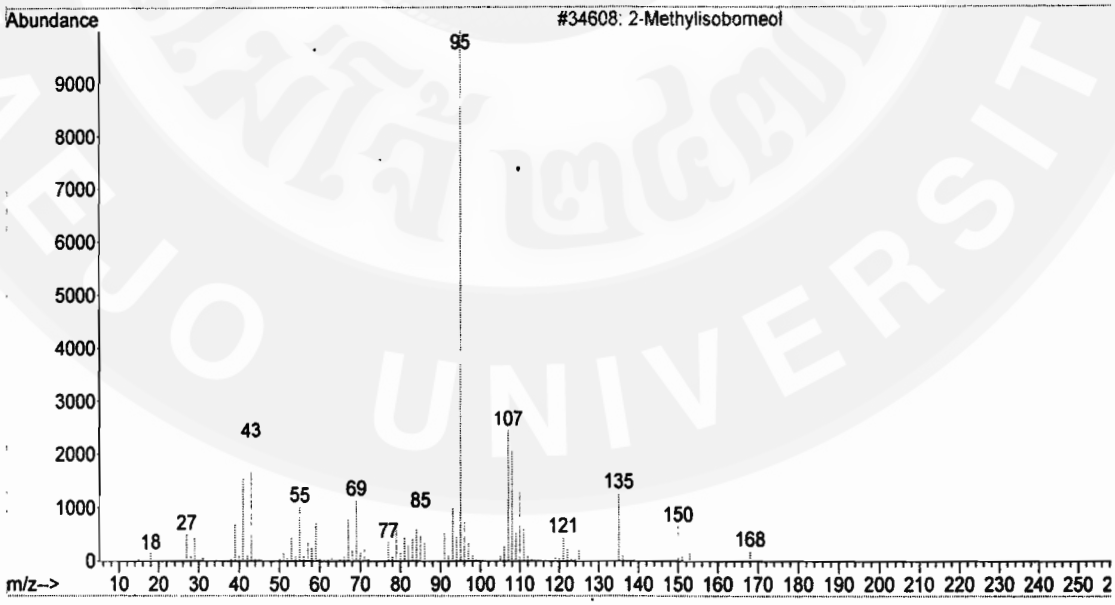
ภาพ 7 (A) ตัวอย่างเนื้อปลานิล (B) สกัดที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส และฉีดไฟเบอร์นาน 12 นาที (C) นำ SPME เสียบที่เครื่อง GC/MS (D) เครื่อง GC/MS ทำการประมวลผล



ภาพ 8 Retation time ของสารจีออสมินและเอ็มไอบี ที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC/MS



ภาพ 9 Mass spectrum ของสารจืออสมิน (trans-1, 10-Dimethyl-trans-9-decalinol)



ภาพ 10 Mass spectrum ของสารเอ็มไอบี (2-methylisoborneol)

การศึกษาชนิดและปริมาณของแพลงก์ตอนพืช

โดยทำการเก็บตัวอย่างแพลงก์ตอนพืชทุก ๆ 30 วัน โดยใช้ถุงกรองแพลงก์ตอนขนาด 10 ไมครอน กรองตัวอย่างน้ำปริมาตร 5 ลิตร/บ่อ เก็บน้ำที่กรองได้ใส่ขวดเก็บตัวอย่าง รักษาสภาพด้วย Lugol 's solution 2 เปอร์เซ็นต์ และนำตัวอย่างที่เก็บไว้ไปศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์ เพื่อจำแนกชนิดและนับจำนวนแพลงก์ตอนพืช พร้อมนำค่าที่ได้มาคำนวณหาปริมาณแพลงก์ตอนพืช ($\times 10^3$ เซลล์/มิลลิลิตร) บันทึกภาพภายใต้กล้องจุลทรรศน์ (Nikon ECLIPSE E100, JAPAN) การนับปริมาณชนิดแพลงก์ตอนพืช โดยใช้คู่มือของ ยุวดี และ ฉมาภรณ์ (2546) และจำแนกชนิดแพลงก์ตอนพืช โดยใช้คู่มือของลัดดา (2542)

พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

ตรวจสอบปัจจัยคุณภาพน้ำทางด้านกายภาพ เคมีภาพ และชีวภาพ ในกระชังและบ่อดินทุก 30 วัน ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง โดยใช้ TOA multimeter รุ่น WQC-22A ออกซิเจนละลายน้ำ โดยใช้ TOA multimeter รุ่น WQC-22A อุณหภูมิน้ำ โดยใช้ TOA multimeter รุ่น WQC-22A ความขุ่น โดยใช้ TOA multimeter รุ่น WQC-22A คลอโรฟิลล์ เอ ดัดแปลงจากวิธีของ Wintermans and de Mots (1965), Saijo (1975) แอมโมเนีย-ไนโตรเจน โดยวิธี Phenate method ตามวิธีของ Boyd and Tucker (1992) ไนเตรท-ไนโตรเจน โดยวิธี Cadmium reduction method ตามวิธีของ Boyd and Tucker (1992) ไนไตรท์-ไนโตรเจน โดยวิธี Diazotizing colorimetric method ตามวิธีของ Boyd and Tucker (1992) ออร์โธฟอสเฟต โดยวิธี Stannous chloride method ตามวิธีของ Boyd and Tucker (1992)

ภาพ 11 (A) การตรวจสอบคุณภาพน้ำในภาคสนาม โดยใช้ TOA multimeter รุ่น WQC-22A
(B) การนับปริมาณชนิดแพลงก์ตอนพืชภายใต้กล้องจุลทรรศน์ภายในห้องปฏิบัติการ

การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลของสารจืออสมินและเอ็มไอบี จากตัวอย่างเนื้อปลานิลและตัวอย่างน้ำ ข้อมูลคลอโรฟิลล์ เอ ข้อมูลจำนวนไซยาโนแบคทีเรียรวม มาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อศึกษาความแตกต่างของแต่ละหน่วยการทดลอง ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรม SPSS 16.0 for Windows

การทดลองที่ 2: ศึกษาผลของอายุบ่อต่อชนิดของแพลงก์ตอนพืชและแอคติโนมัยซีสที่ก่อให้เกิดกลิ่นโคลนในเนื้อปลานิลที่เลี้ยงด้วยบ่อดินระบบน้ำเขียว

การวางแผนการทดลอง

พื้นที่ทำการทดลองระบบการเลี้ยง ณ บ่อเลี้ยงปลานิลระบบน้ำเขียวฟาร์มเอกชน อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย โดยใช้บ่อดินขนาด 0.5-1.0 ไร่ ทำการปล่อยลูกพันธุ์ปลานิลน้ำหนักเฉลี่ย 38-41 กรัม โดยอัตราการปล่อยบ่อละ 3 ตัว/ตารางเมตร ให้อาหารเม็ดปลากินพืชที่มีระดับโปรตีน 30% ทุกหน่วยการทดลอง ทำการทดลองเป็นระยะเวลา 240 วัน วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) แบ่งการทดลองออกเป็น 4 หน่วยการทดลองโดยการเลี้ยงปลานิลในอายุบ่อแตกต่างกัน ดังนี้

หน่วยการทดลองที่ 1 เลี้ยงปลานิลในบ่อดินอายุ 1 ปี จำนวน 6 บ่อ
หน่วยการทดลองที่ 2 เลี้ยงปลานิลในบ่อดินอายุ 3 ปี จำนวน 3 บ่อ
หน่วยการทดลองที่ 3 เลี้ยงปลานิลในบ่อดินอายุ 6 ปี จำนวน 4 บ่อ
หน่วยการทดลองที่ 4 เลี้ยงปลานิลในบ่อดินอายุ 10 ปี จำนวน 7 บ่อ

ภาพ 12 บ่อทดลองการเลี้ยงปลานิลด้วยระบบน้ำเขียว เลี้ยงปลานิลในบ่อดินอายุ 1 ปี

ภาพ 12 (ต่อ)

ภาพ 13 บ่อทดลองการเลี้ยงปลานิลด้วยระบบน้ำเขียว เลี้ยงปลานิลในบ่อดินอายุ 3 ปี

ภาพ 14 บ่อทดลองการเลี้ยงปลานิลด้วยระบบน้ำเขียว เลี้ยงปลานิลในบ่อดินอายุ 6 ปี

ภาพ 15 บ่อทดลองการเลี้ยงปลานิลด้วยระบบน้ำเขียว เลี้ยงปลานิลในบ่อดินอายุ 10 ปี

ภาพ 15 (ต่อ)

การตรวจปริมาณเชื้อแอคติโนมัยซีส (Shutrirung, 2005)

3.1 แบ่งตัวอย่างดินใส่ในจานอาหารเลี้ยงเชื้อที่ฆ่าเชื้อแล้ว ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 สัปดาห์เพื่อให้ตัวอย่างแห้ง

3.2 ชั่งดิน 10 กรัม ทำการเจือจางในน้ำกลั่นฆ่าเชื้อ 90 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันเป็นระดับเจือจางที่ 10^{-1}

3.3 ปิเปตตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร ทำการเจือจางในน้ำกลั่นฆ่าเชื้อ 9 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน เป็นระดับเจือจางที่ 10^{-2}

3.4 ปิเปตตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร ถึงระดับความเจือจางที่ 10^{-6}

3.5 ปิเปตตัวอย่าง 0.1 มิลลิลิตร จากระดับความเจือจางที่ 10^{-3}, 10^{-4}, 10^{-5} และ 10^{-6} มา spread บนจานอาหารเลี้ยงเชื้อ IMA-2 ที่เตรียมไว้

3.6 บ่มไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 7 วัน ตรวจดูการเจริญเติบโตของเชื้อ

3.7 นับจำนวนโคโลนีของเชื้อแอคติโนมัยซีส คำนวณปริมาณเชื้อแอคติโนมัยซีส

สูตร เซลล์/กรัมดินชื้น = จำนวนเซลล์ /$0.1\times10^{\text{dilution factor}}$

เซลล์/กรัมดินแห้ง = จำนวนเซลล์ / $0.1\times10^{\text{dilution factor}}$ /น้ำหนักของดินแห้ง

ภาพ 16 (A) การเก็บตัวอย่างปลานิล (B) การเก็บตัวอย่างน้ำ (C) การเก็บตัวอย่างดินพื้นบ่อ และ (D) การกรองแพลงก์ตอนพืชในบ่อเลี้ยงปลานิลระบบน้ำเขียว

การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อศึกษาความแตกต่างของแต่ละชุดทดลอง จากนั้นเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของหน่วยทดลองโดยวิธี Duncan Multiple Range Test ; DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรม Statistical Package for the Social Sciences ; SPSS 16.0 for Windows

บทที่ 4

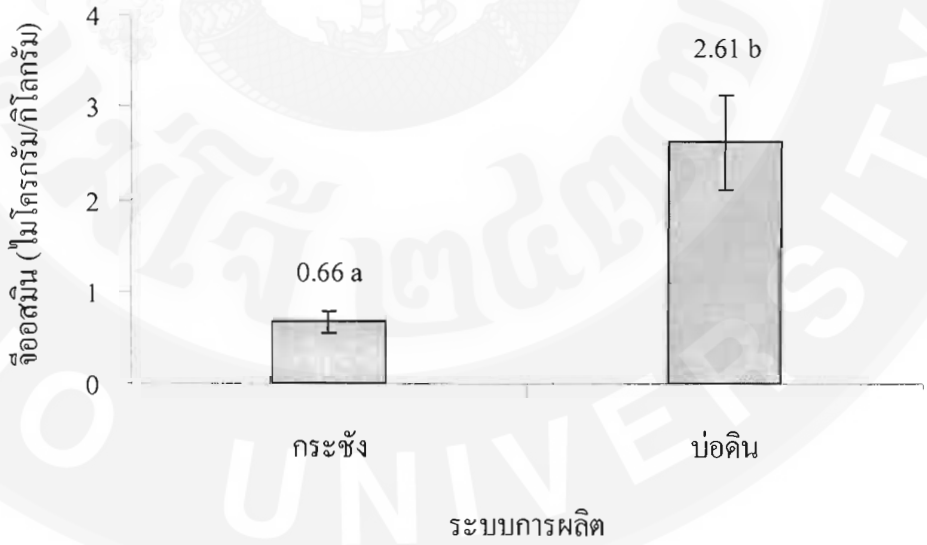
ผลการวิจัย

การทดลองที่ 1: ศึกษาผลของระบบการผลิต (การเลี้ยงปลานิลในกระชังและบ่อดิน) ต่อการสะสมกลิ่นโคลนในเนื้อปลานิล

1. ปริมาณสารจีออสมินในเนื้อปลานิลและน้ำที่เลี้ยงปลานิลในระบบการผลิตต่างกัน

1.1 ปริมาณสารจีออสมินในเนื้อปลานิลที่เลี้ยงในระบบการผลิตต่างกัน

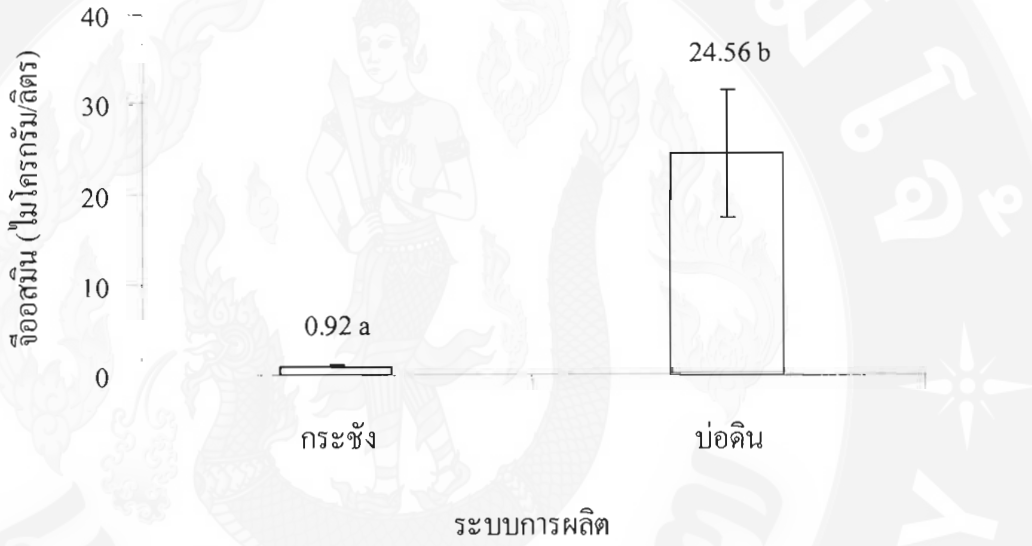
จากการศึกษาปริมาณสารจีออสมินในเนื้อปลานิลที่เลี้ยงในระบบการผลิตต่างกัน ดังนี้ คือ การเลี้ยงปลานิลในกระชังและบ่อดิน ตามลำดับ (ภาพ 17) พบว่าปริมาณสารจีออสมินในเนื้อปลานิลที่ได้จากการเลี้ยงในกระชังมีค่าเฉลี่ยต่ำสุด เท่ากับ 0.66±0.11 ไมโครกรัม/กิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างกับปริมาณสารจีออสมินในเนื้อปลานิลที่ได้จากการเลี้ยงในบ่อดินมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 2.61±0.51 ไมโครกรัม/กิโลกรัม พบว่ามีความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ภาพ 17 ปริมาณสารจีออสมินในเนื้อปลานิลที่เลี้ยงด้วยระบบการผลิตต่างกัน (n=9)

1.2 ปริมาณสารจีออสมินในน้ำที่เลี้ยงปลานิลในระบบการผลิตต่างกัน

จากการศึกษาปริมาณสารจีออสมินในน้ำที่เลี้ยงปลานิลในระบบการผลิตต่างกัน ดังนี้ คือ การเลี้ยงปลานิลกระชังและบ่อดิน ตามลำดับ (ภาพ 18) พบว่าปริมาณสารจีออสมินในน้ำที่เลี้ยงปลานิลในกระชังมีค่าเฉลี่ยต่ำสุด เท่ากับ 0.92±0.08 ไมโครกรัม/ลิตร เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างกับปริมาณสารจีออสมินในน้ำที่เลี้ยงปลานิลในบ่อดินมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 24.56±7.11 ไมโครกรัม/ลิตร พบว่ามีความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

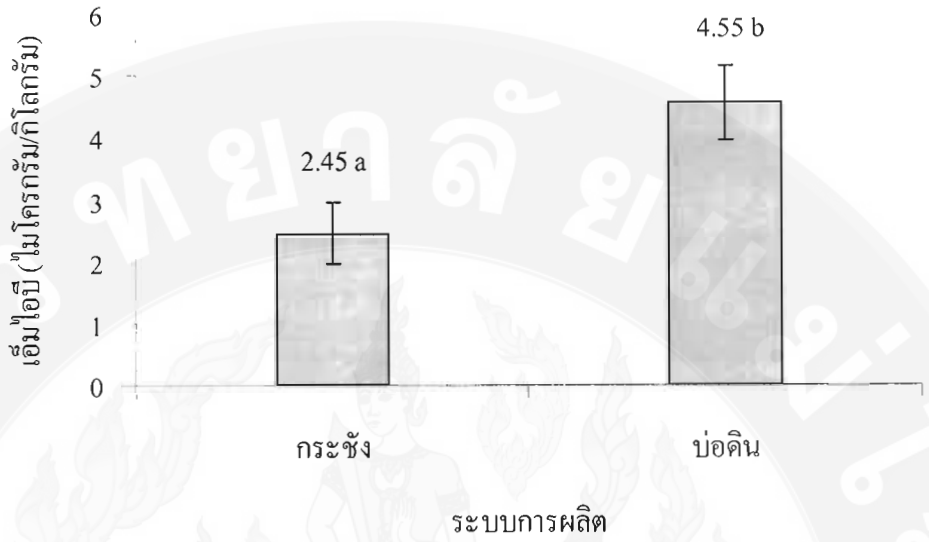


ภาพ 18 ปริมาณสารจีออสมินในน้ำที่เลี้ยงปลานิลด้วยระบบการผลิตต่างกัน (n=9)

2. ปริมาณสารเอ็มไอบีในเนื้อปลานิลและน้ำที่เลี้ยงปลานิลในระบบการผลิตต่างกัน

2.1 ปริมาณสารเอ็มไอบีในเนื้อปลานิลที่เลี้ยงในระบบการผลิตต่างกัน

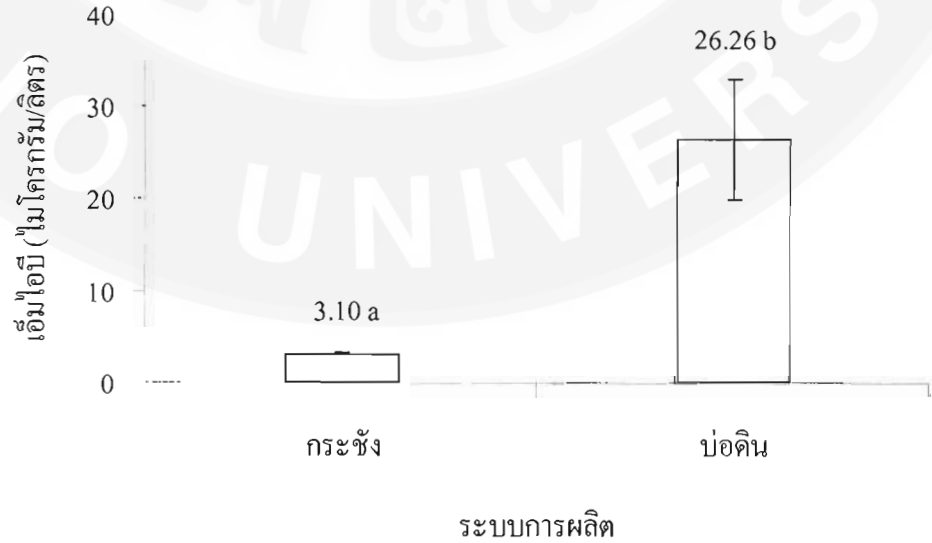
จากการศึกษาปริมาณสารเอ็มไอบีในเนื้อปลานิลที่เลี้ยงในระบบการผลิตต่างกัน ดังนี้ คือ การเลี้ยงปลานิลในกระชังและบ่อดินตามลำดับ (ภาพ 19) พบว่าปริมาณสารเอ็มไอบีในเนื้อปลานิลที่ได้จากการเลี้ยงในกระชังมีค่าเฉลี่ยต่ำสุด เท่ากับ 2.45±0.50 ไมโครกรัม/กิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างกับปริมาณสารเอ็มไอบีในเนื้อปลานิลที่ได้จากการเลี้ยงในบ่อดินมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 4.55±0.59 ไมโครกรัม/กิโลกรัม พบว่ามีความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ภาพ 19 ปริมาณสารเอ็มไอบีในเนื้อปลานิลที่เลี้ยงด้วยระบบการผลิตต่างกัน (n=9)

2.2 ปริมาณสารเอ็มไอบีในน้ำที่เลี้ยงปลานิลในระบบการผลิตต่างกัน

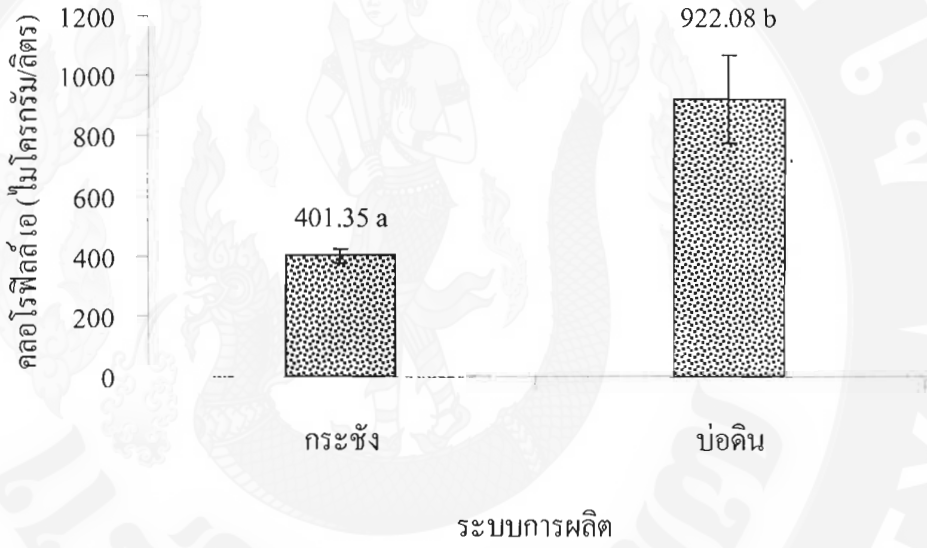
จากการศึกษาปริมาณสารเอ็มไอบีในน้ำที่เลี้ยงปลานิลในระบบการผลิตต่างกัน ดังนี้ คือ การเลี้ยงปลานิลในกระชังและบ่อดิน ตามลำดับ (ภาพ 20) พบว่าปริมาณสารเอ็มไอบีในน้ำที่เลี้ยงปลานิลในกระชังมีค่าเฉลี่ยต่ำสุด เท่ากับ 3.10±0.15 ไมโครกรัม/ลิตร เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างกับปริมาณสารเอ็มไอบีในน้ำที่เลี้ยงปลานิลในบ่อดินมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 26.26±6.56 ไมโครกรัม/ลิตร พบว่ามีความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ภาพ 20 ปริมาณสารเอ็มไอบีในน้ำที่เลี้ยงปลานิลด้วยระบบการผลิตต่างกัน (n=9)

3. ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ

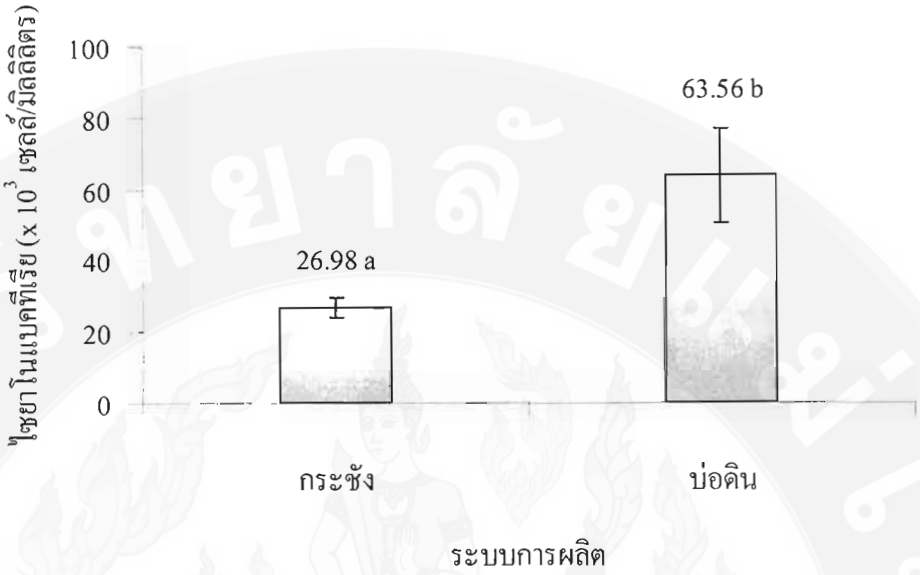
จากการศึกษาปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในน้ำที่เลี้ยงปลานิลในระบบการผลิตต่างกัน ดังนี้ คือ การเลี้ยงปลานิลในกระชังและบ่อดิน ตามลำดับ (ภาพ 21) พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในน้ำที่เลี้ยงปลานิลในกระชังมีค่าเฉลี่ยต่ำสุด เท่ากับ 401.35±21.11 ไมโครกรัม/ลิตร เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างกับปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในน้ำที่เลี้ยงปลานิลในบ่อดินมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 922.08±143.74 ไมโครกรัม/ลิตร พบว่ามีความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ภาพ 21 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในน้ำที่เลี้ยงปลานิลด้วยระบบการผลิตต่างกัน (n=9)

4. ปริมาณไซยาโนแบคทีเรีย

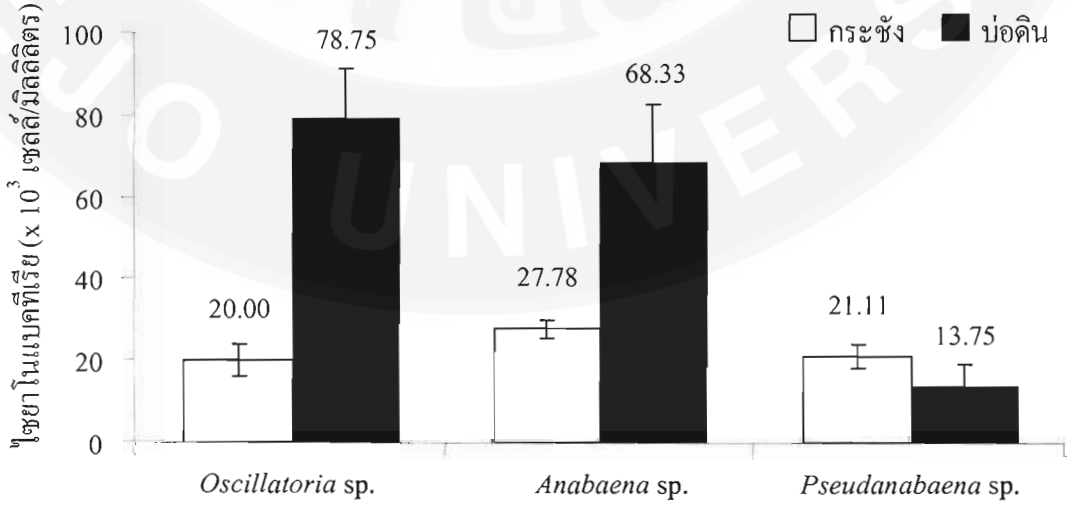
จากการศึกษาปริมาณไซยาโนแบคทีเรียในน้ำที่เลี้ยงปลานิลในระบบการผลิตต่างกัน ดังนี้ คือ การเลี้ยงปลานิลในกระชังและบ่อดิน ตามลำดับ (ภาพ 22) พบว่าปริมาณไซยาโนแบคทีเรียในน้ำที่เลี้ยงปลานิลในกระชังมีค่าเฉลี่ยต่ำสุด เท่ากับ 401.35±21.11 ไมโครกรัม/ลิตร เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างกับปริมาณไซยาโนแบคทีเรียในน้ำที่เลี้ยงปลานิลในบ่อดินมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 922.08±143.74 ไมโครกรัม/ลิตร พบว่ามีความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ภาพ 22 ปริมาณไซยาโนแบคทีเรียในน้ำที่เลี้ยงปลานิลด้วยระบบการผลิตต่างกัน (n=9)

5. ปริมาณชนิดไซยาโนแบคทีเรียที่ผลิตกลิ่นโคลน

จากการศึกษาปริมาณชนิดไซยาโนแบคทีเรียที่ผลิตกลิ่นโคลนในน้ำที่เลี้ยงปลานิลในระบบการผลิตต่างกัน ดังนี้ คือ การเลี้ยงปลานิลในกระชังและบ่อดิน ตามลำดับ (ภาพ 23) พบว่าในน้ำที่เลี้ยงปลานิลในกระชังและบ่อดินมีปริมาณชนิดไซยาโนแบคทีเรียที่ผลิตกลิ่นโคลน ได้แก่ *Oscillatoria* sp. มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 20.00±3.85 และ 78.75±14.61×10^3 เซลล์/มิลลิลิตร, *Anabaena* sp. มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 27.78±2.22 และ 68.33±26.05×10^3 เซลล์/มิลลิลิตร และ *Pseudanabaena* sp. มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 21.11±2.94 และ 13.75±5.36×10^3 เซลล์/มิลลิลิตร ตามลำดับ



ภาพ 23 ปริมาณชนิดไซยาโนแบคทีเรียที่ผลิตกลิ่นโคลนในบ่อดินและกระชัง (n=9)

ตาราง 8 คุณภาพน้ำในระบบการผลิต หน่วยการทดลองที่ 1 (กระชัง) และหน่วยการทดลองที่ 2 (บ่อดิน)

พารามิเตอร์	กระชัง (n=9)	บ่อดิน (n=9)
1. พีเอช	7.5±0.0	8.1±0.2
2. ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (มิลลิกรัม/ลิตร)	4.6±0.1	9.4±0.6
3. ความเป็นด่าง (มิลลิกรัม/ลิตร)	43.7±1.5	92.0±7.8
4. ความขุ่น (NTU)	24.7±1.9	215.5±47.6
5. แอมโมเนีย (มิลลิกรัม/ลิตร)	0.40±0.02	0.63±0.10
6. ไนไตรท์ (มิลลิกรัม/ลิตร)	0.12±0.00	0.24±0.09
7. ไนเตรท (มิลลิกรัม/ลิตร)	0.16±0.02	0.12±0.02
8. ออร์โธฟอสเฟต (มิลลิกรัม/ลิตร)	0.15±0.01	0.45±0.08

การทดลองที่ 2: ศึกษาผลของอายุบ่อต่อชนิดของแพลงก์ตอนพืชและแอคติโนมัยซีสที่ก่อให้เกิดกลิ่นโคลนในเนื้อปลานิลที่เลี้ยงด้วยบ่อดินระบบน้ำเขียว

1. ผลของอายุบ่อต่อปริมาณชนิดแพลงก์ตอนพืช

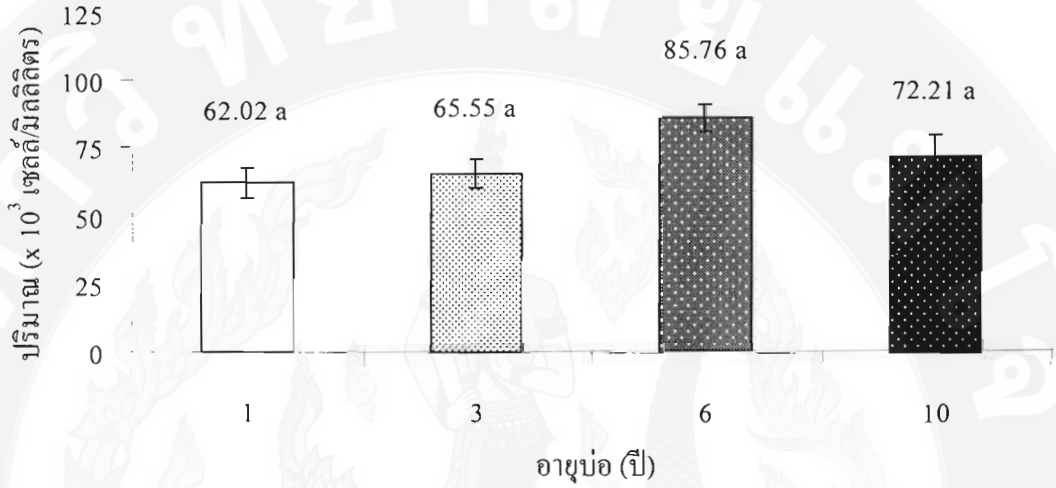
1.1 ผลของอายุบ่อต่อปริมาณชนิดแพลงก์ตอนพืช ดิวิชัน Chlorophyta (สาหร่ายสีเขียว)

จากการศึกษาปริมาณของแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Chlorophyta ในตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลานิลที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียว โดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อต่างกัน ดังนี้ คือ อายุบ่อ 1, 3, 6 และ 10 ปี ตามลำดับ (ภาพ 24) พบว่า ปริมาณของแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Chlorophyta ในตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียวโดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อ 6 ปี มีปริมาณสูงสุด โดยมีค่าเฉลี่ยของปริมาณแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Chlorophyta เท่ากับ $85.76\pm5.50\times10^3$ เซลล์/มิลลิลิตร เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติกับปริมาณแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Chlorophyta ในตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียวโดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อ 1, 3 และ 10 ปี ตามลำดับ พบว่า ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p\geq0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยของปริมาณแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Chlorophyta เท่ากับ 62.02 ± 5.52, 65.55 ± 5.08 และ $72.21.0\pm7.80\times10^3$ เซลล์/มิลลิลิตร ตามลำดับ

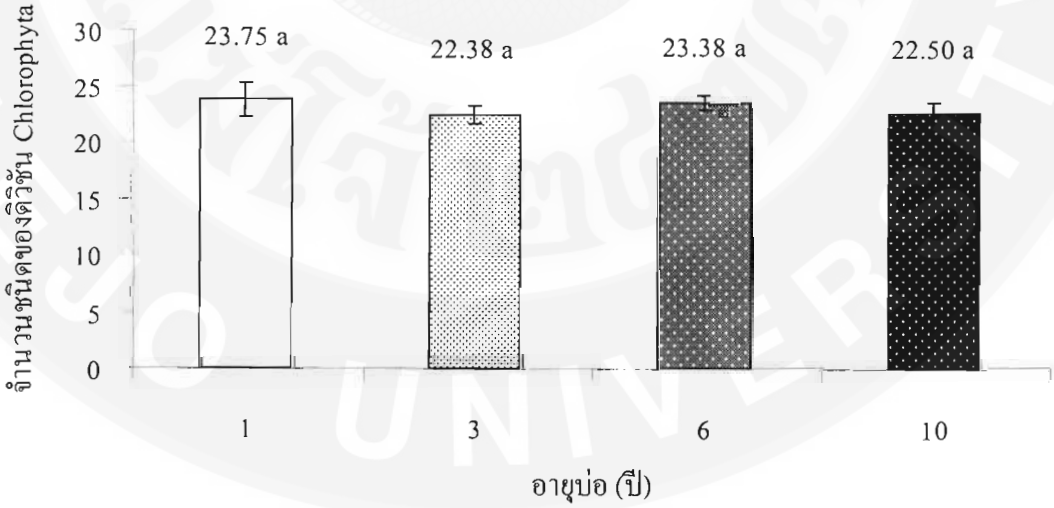
ส่วนจำนวนชนิดของแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Chlorophyta ในตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียว โดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อต่างกันดังนี้ คือ อายุบ่อ 1, 3, 6 และ 10 ปี ตามลำดับ (ภาพ 25) พบว่า ชนิดของแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Chlorophyta ในตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียว โดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อ 1 ปี มีค่าเฉลี่ยจำนวนชนิดสูงสุด โดยมีค่าเท่ากับ 23.75 ± 1.56 ชนิด เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติกับจำนวนชนิดของแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Chlorophyta ในตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียว โดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อ 3, 6 และ 10 ปี ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 22.38 ± 0.86, 23.38 ± 0.71 และ 22.50 ± 0.93 ชนิด ตามลำดับ พบว่า ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p\geq0.05$) กับค่าเฉลี่ยจำนวนชนิดของแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Chlorophyta ในตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียว โดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อต่างกัน

โดยชนิดของแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Chlorophyta ที่พบ ได้แก่ *Eudorina* sp., *Pandorina* sp., *Euastrum* sp., *Coelastrum* sp., *Dictyosphaerium* sp., *Selenastrum*., *Nephrocytium* sp., *Kirchneriella* sp., *Crucigenia* sp., *Tetrastrum* sp., *Closterium* sp., *Monoraphidium* sp., *Cosmarium* sp., *Actinastrum* sp., *Tetraedron* sp., *Eutetramorus* sp., *Ankistrodesmus* sp.,

Crucigeniella sp., *Radiococcus* sp., *Micractinium* sp., *Staurastrum* sp., *Chlorella* sp., *Gonium* sp., *Pediastrum* sp., *Scenedesmus* sp. และ *Elakatotrix* sp. ตามลำดับ



ภาพ 24 ค่าเฉลี่ยของปริมาณแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Chlorophyta ในบ่อเลี้ยงปลานิลระบบน้ำเขียว โดยเลี้ยงปลานิลที่อายุบ่อต่างกัน



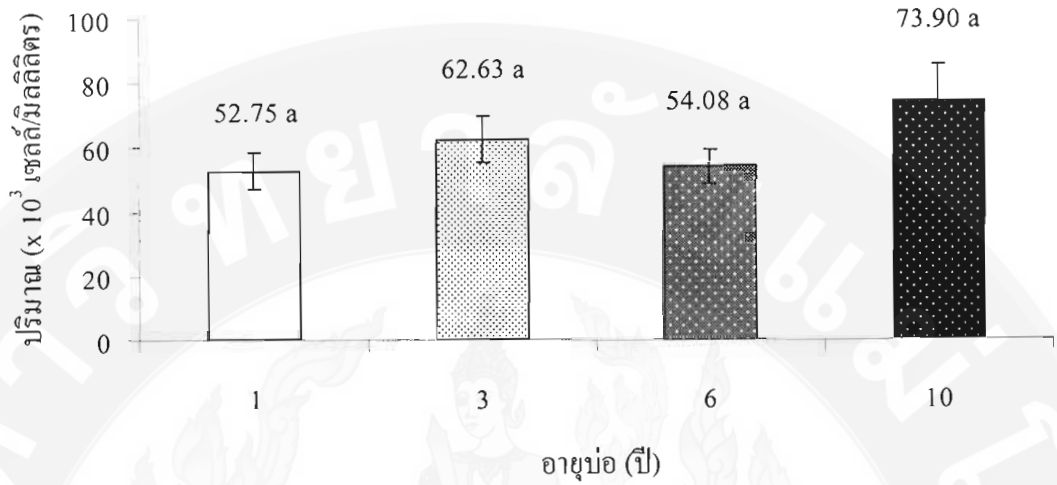
ภาพ 25 ค่าเฉลี่ยจำนวนชนิดของแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Chlorophyta ในบ่อเลี้ยงปลานิลระบบน้ำเขียวโดยเลี้ยงปลานิลที่อายุบ่อต่างกัน

1.2 ผลของอายุบ่อต่อปริมาณชนิดแพลงก์ตอนพืช ดิวิชัน Cyanophyta (สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน)

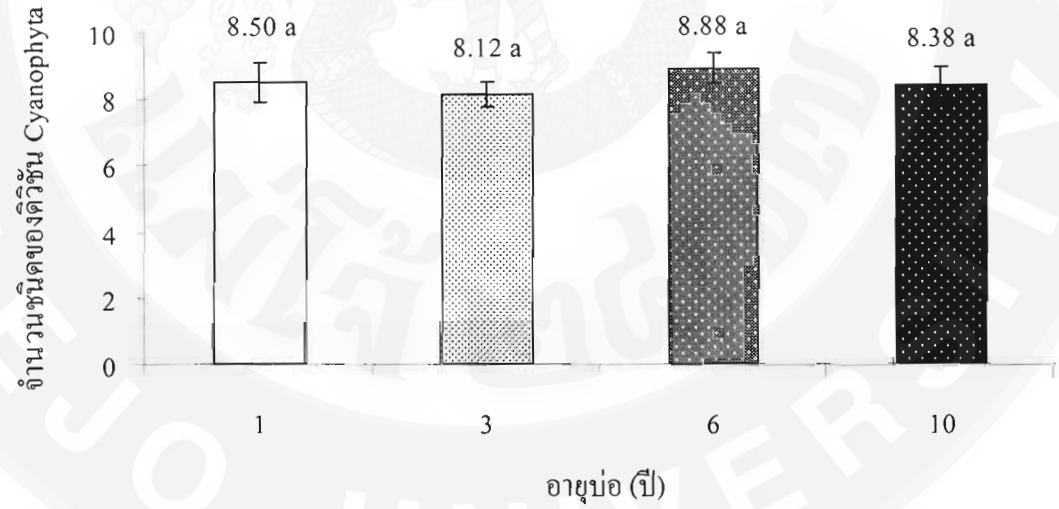
จากการศึกษาปริมาณของแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Cyanophyta ในตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลานิลที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียว โดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อต่างกัน ดังนี้ คือ อายุบ่อ 1, 3, 6 และ 10 ปี ตามลำดับ (ภาพ 26) พบว่า ปริมาณของแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Cyanophyta ในตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียว โดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อ 10 ปี มีปริมาณสูงสุด โดยมีค่าเฉลี่ยของปริมาณแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Cyanophyta เท่ากับ $73.90\pm10.93\times10^3$ เซลล์/มิลลิลิตร เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติกับปริมาณแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Cyanophyta ในตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียวโดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อ 1, 3 และ 6 ปี ตามลำดับ พบว่า ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p\geq0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยของปริมาณแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Cyanophyta เท่ากับ 52.75 ± 6.04, 62.63 ± 7.16 และ $54.08\pm5.22\times10^3$ เซลล์/มิลลิลิตร ตามลำดับ

ส่วนจำนวนชนิดของแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Cyanophyta ในตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียว โดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อต่างกันดังนี้ คือ อายุบ่อ 1, 3, 6 และ 10 ปี ตามลำดับ (ภาพ 27) พบว่า ชนิดของแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Chlorophyta ในตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียว โดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อ 6 ปี มีค่าเฉลี่ยจำนวนชนิดสูงสุด โดยมีค่าเท่ากับ 8.88 ± 0.46 ชนิด เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติกับจำนวนชนิดของแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Cyanophyta ในตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียว โดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อ 1, 3 และ 10 ปี ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 8.50 ± 0.60, 8.12 ± 0.40 และ 8.38 ± 0.52 ชนิด ตามลำดับ พบว่า ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p\geq0.05$) กับค่าเฉลี่ยจำนวนชนิดของแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Cyanophyta ในตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียว โดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อต่างกัน

โดยชนิดของแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Cyanophyta ที่พบ ได้แก่ *Chroococcus* sp., *Gloeocapsa* sp., *Spirulina* sp., *Merismopedia* sp., *Oscillatoria* sp., *Anabaena* sp., *Microcystis* sp., *Cylindrospermopsis* sp., *Phormidium* sp. และ *Pseudanabaena* sp. ตามลำดับ



ภาพ 26 ค่าเฉลี่ยของปริมาณแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Cyanophyta ในบ่อเลี้ยงปลานิลระบบน้ำเขียว โดยเลี้ยงปลานิลในอายุบ่อต่างกัน



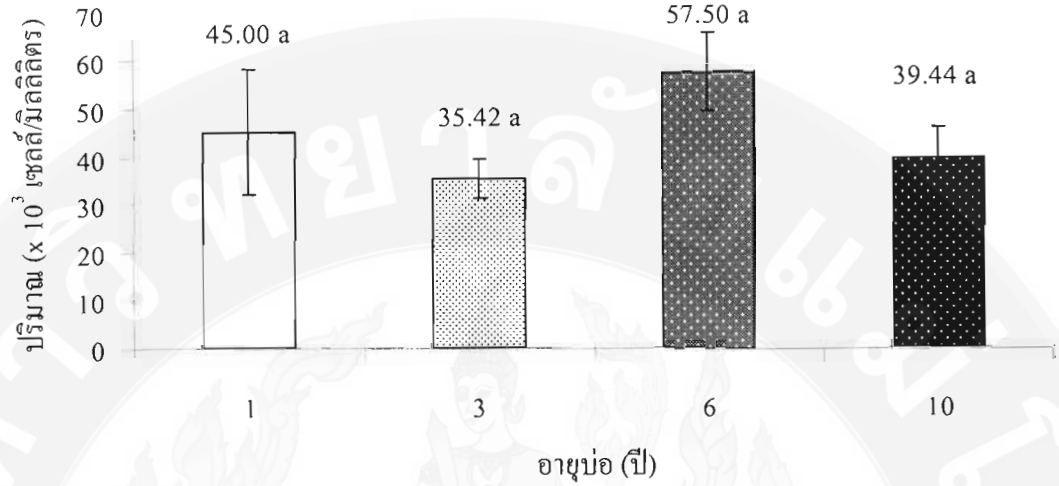
ภาพ 27 ค่าเฉลี่ยจำนวนชนิดของแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Cyanophyta ในบ่อเลี้ยงปลานิลระบบน้ำเขียวโดยเลี้ยงปลานิลในอายุบ่อต่างกัน

1.3 ผลของอายุบ่อต่อปริมาณชนิดแพลงก์ตอนพืช ดิวิชัน Euglenophyta (สาหร่ายยูกลีนอยด์)

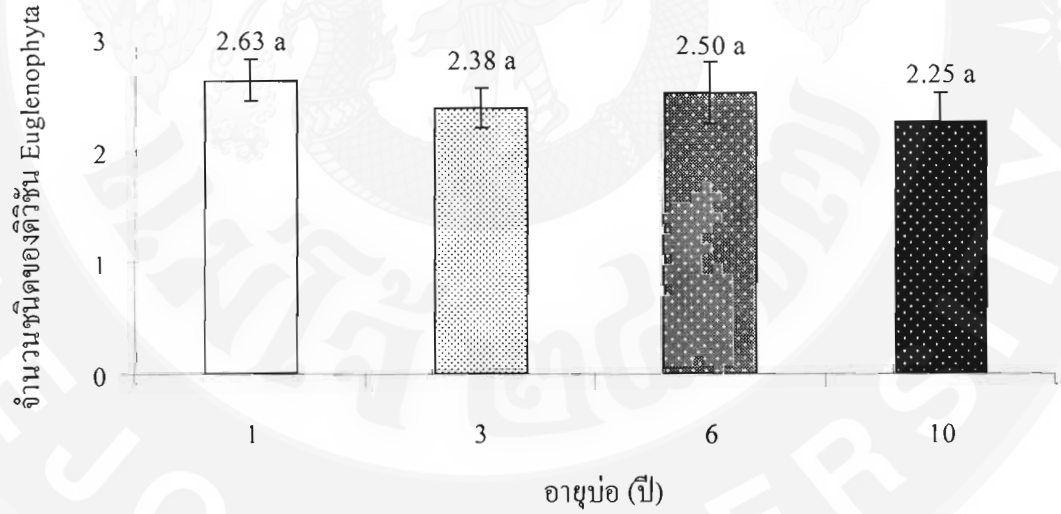
จากการศึกษาปริมาณของแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Euglenophyta ในตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลานิลที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียว โดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อต่างกัน ดังนี้ คือ อายุบ่อ 1, 3, 6 และ 10 ปี ตามลำดับ (ภาพ 28) พบว่า ปริมาณของแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Euglenophyta ในตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียว โดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อ 6 ปี มีปริมาณสูงสุด โดยมีค่าเฉลี่ยของปริมาณแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Euglenophyta เท่ากับ $57.50\pm10.93\times10^{3}$ เซลล์/มิลลิลิตร เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติกับปริมาณแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Euglenophyta ในตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียวโดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อ 1, 3 และ 10 ปี ตามลำดับ พบว่า ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p\geq0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยของปริมาณแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Euglenophyta เท่ากับ 45.00 ± 12.90, 35.42 ± 4.00 และ $39.44\pm6.43\times10^{3}$ เซลล์/มิลลิลิตร ตามลำดับ

ส่วนจำนวนชนิดของแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Euglenophyta ในตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียว โดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อต่างกันดังนี้ คือ อายุบ่อ 1, 3, 6 และ 10 ปี ตามลำดับ (ภาพ 29) พบว่า ชนิดของแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Euglenophyta ในตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียว โดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อ 1 ปี มีค่าเฉลี่ยจำนวนชนิดสูงสุด โดยมีค่าเท่ากับ 2.63 ± 0.18 ชนิด เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติกับจำนวนชนิดของแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Euglenophyta ในตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียว โดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อ 3, 6 และ 10 ปี ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 2.38 ± 0.18, 2.50 ± 0.27 และ 2.25 ± 0.25 ชนิด ตามลำดับ พบว่า ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p\geq0.05$) กับค่าเฉลี่ยจำนวนชนิดของแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Euglenophyta ในตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียว โดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อต่างกัน

โดยชนิดของแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Euglenophyta ที่พบ ได้แก่ *Euglena* sp., *Phacus* sp. และ *Trachelomonas* sp. ตามลำดับ



ภาพ 28 ค่าเฉลี่ยปริมาณแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Euglenophyta ในบ่อเลี้ยงปลานิลระบบน้ำเขียวโดยเลี้ยงปลานิลในอายุบ่อต่างกัน



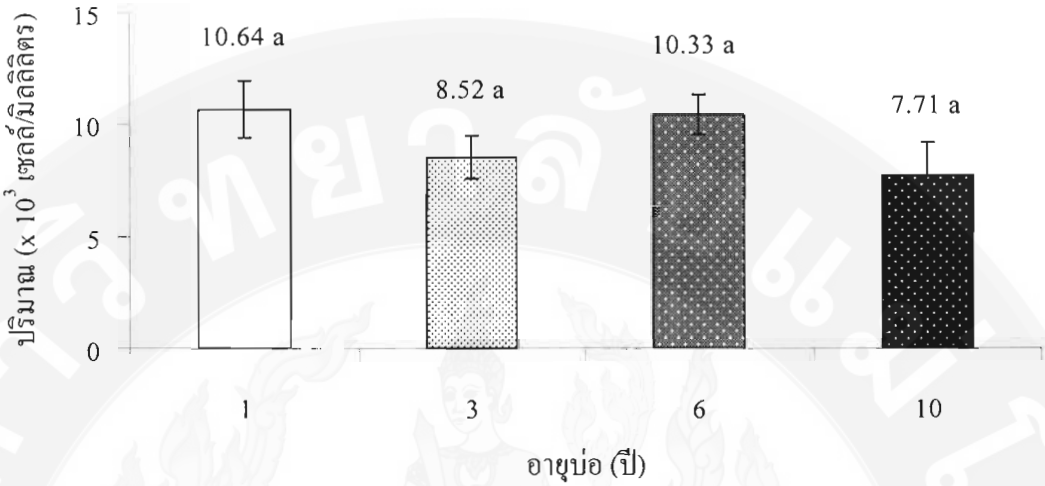
ภาพ 29 ค่าเฉลี่ยจำนวนชนิดของแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Euglenophyta ในบ่อเลี้ยงปลานิลระบบน้ำเขียวโดยเลี้ยงปลานิลในอายุบ่อต่างกัน

1.4 ผลของอายุบ่อต่อปริมาณชนิดแพลงก์ตอนพืช ดิวิชัน Bacillariophyta (ไดอะตอม)

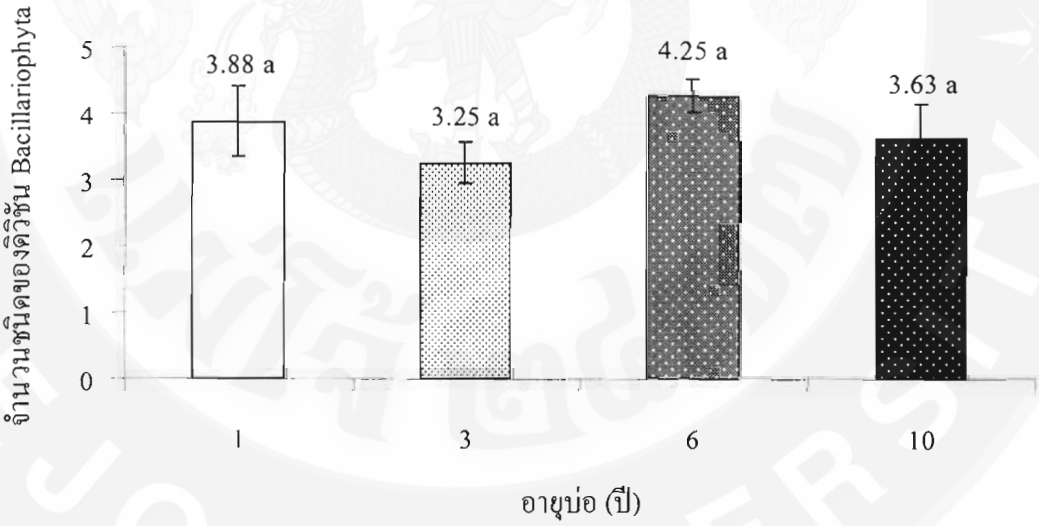
จากการศึกษาปริมาณของแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Bacillariophyta ในตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลานิลที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียว โดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อต่างกัน ดังนี้ คือ อายุบ่อ 1, 3, 6 และ 10 ปี ตามลำดับ (ภาพ 30) พบว่า ปริมาณของแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Bacillariophyta ในตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียว โดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อ 1 ปี มีปริมาณสูงสุด โดยมีค่าเฉลี่ยของปริมาณแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Bacillariophyta เท่ากับ $10.64\pm2.27\times10^{3}$ เซลล์/มิลลิลิตร เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติกับปริมาณแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Bacillariophyta ในตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียว โดยเลี้ยงปลาในบ่ออายุ 3, 6 และ 10 ปี ตามลำดับ พบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p\geq0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยของปริมาณแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Bacillariophyta เท่ากับ 8.52 ± 0.96, 8.52 ± 0.96 และ $7.70\pm1.42\times10^{3}$ เซลล์/มิลลิลิตร ตามลำดับ

ส่วนจำนวนชนิดของแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Bacillariophyta ในตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียว โดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อต่างกันดังนี้ คือ อายุบ่อ 1, 3, 6 และ 10 ปี ตามลำดับ (ภาพ 31) พบว่า ชนิดของแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Bacillariophyta ในตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียว โดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อ 6 ปี มีค่าเฉลี่ยจำนวนชนิดสูงสุด โดยมีค่าเท่ากับ 4.25 ± 0.26 ชนิด เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติกับจำนวนชนิดของแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Bacillariophyta ในตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียว โดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อ 1, 3 และ 10 ปี ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 3.88 ± 0.52, 3.25 ± 0.31 และ 3.63 ± 0.50 ชนิด ตามลำดับ พบว่า ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p\geq0.05$) กับค่าเฉลี่ยจำนวนชนิดของแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Bacillariophyta ในตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียว โดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อต่างกัน

โดยชนิดของแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Bacillariophyta ที่พบได้แก่ *Aulacoseira* sp., *Gomphonema* sp., *Gyrosigma* sp., *Navicula* sp., *Nitzschia* sp. และ *Cyclotella* sp. ตามลำดับ



ภาพ 30 ค่าเฉลี่ยปริมาณแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Bacillariophyta ในบ่อเลี้ยงปลานิลระบบน้ำเขียว โดยเลี้ยงปลานิลในอายุบ่อต่างกัน



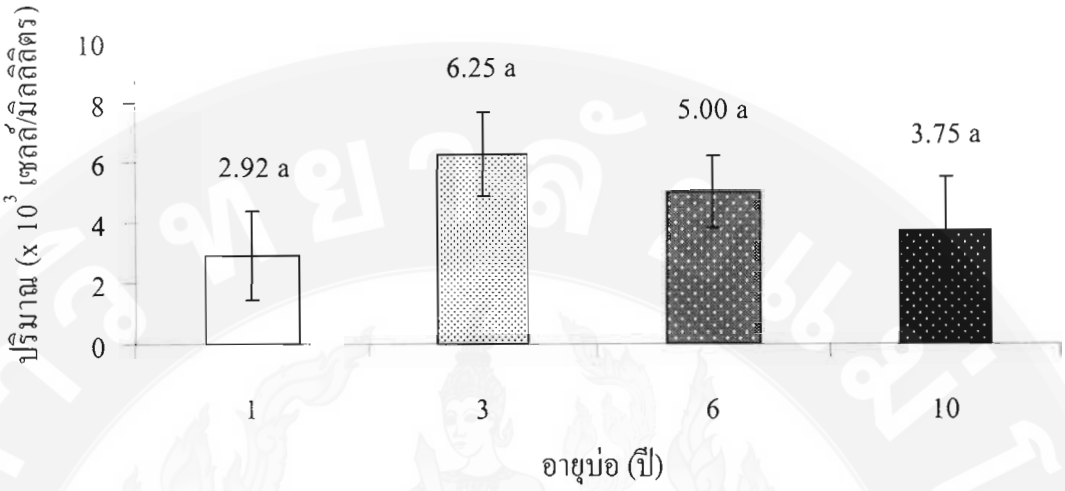
ภาพ 31 ค่าเฉลี่ยจำนวนชนิดของแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Bacillariophyta ในบ่อเลี้ยงปลานิลระบบน้ำเขียวโดยเลี้ยงปลานิลในอายุบ่อต่างกัน

1.5 ผลของอายุบ่อต่อปริมาณชนิดแพลงก์ตอนพืช ดิวิชัน Cryptophyta (สาหร่ายคริปโตโมแนส)

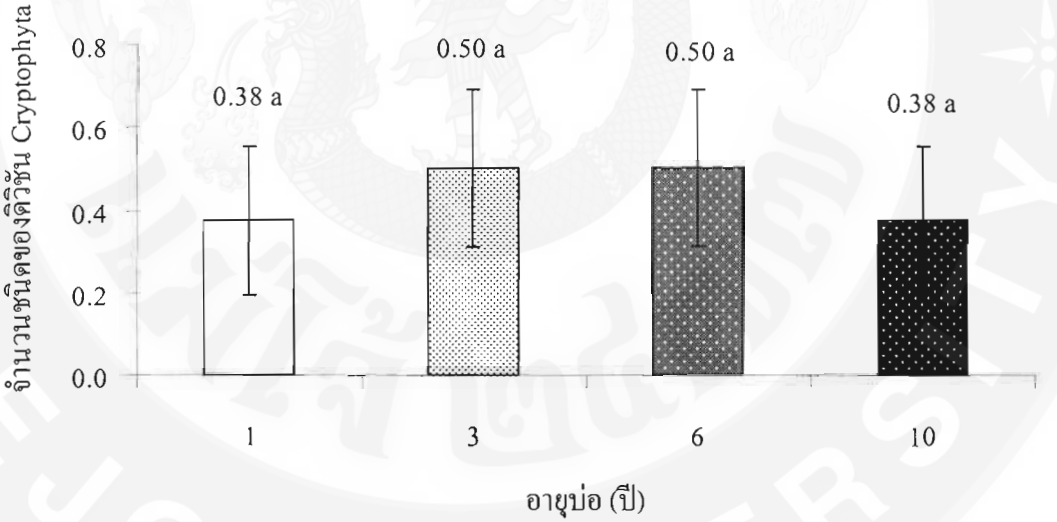
จากการศึกษาปริมาณของแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Cryptophyta ในตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลานิลที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียว โดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อต่างกัน ดังนี้ คือ อายุบ่อ 1, 3, 6 และ 10 ปี ตามลำดับ (ภาพ 32) พบว่า ปริมาณของแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Cryptophyta ในตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียว โดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อ 3 ปี มีปริมาณสูงสุด โดยมีค่าเฉลี่ยของปริมาณแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Cryptophyta เท่ากับ $6.25\pm2.39\times10^{3}$ เซลล์/มิลลิลิตร เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติกับปริมาณแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Cryptophyta ในตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียว โดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อ 1, 6 และ 10 ปี ตามลำดับ พบว่า ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p\geq0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยปริมาณของแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Cryptophyta เท่ากับ 2.92±1.47, 5.00±1.20 และ $3.75\pm1.83\times10^{3}$ เซลล์/มิลลิลิตร ตามลำดับ

ส่วนจำนวนชนิดของแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Cryptophyta ในตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียว โดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อต่างกันดังนี้ คือ อายุบ่อ 1, 3, 6 และ 10 ปี ตามลำดับ (ภาพ 33) พบว่า ชนิดของแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Cryptophyta ในตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียว โดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อ 3 และ 6 ปี มีค่าเฉลี่ยจำนวนชนิดสูงสุด โดยมีค่า เท่ากับ 0.38±019 และ 0.38±019 ชนิด เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติกับจำนวนชนิดของแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Cryptophyta ในตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียว โดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อ 1 และ 10 ปี ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.38±0.19 และ 0.38±0.19 ชนิด ตามลำดับ

โดยชนิดของแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Cryptophyta ที่พบ ได้แก่ *Cryptomonas* sp.



ภาพ 32 ค่าเฉลี่ยปริมาณแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Cryptophyta ในบ่อเลี้ยงปลานิลระบบน้ำเขียวโดยเลี้ยงปลานิลในอายุบ่อต่างกัน



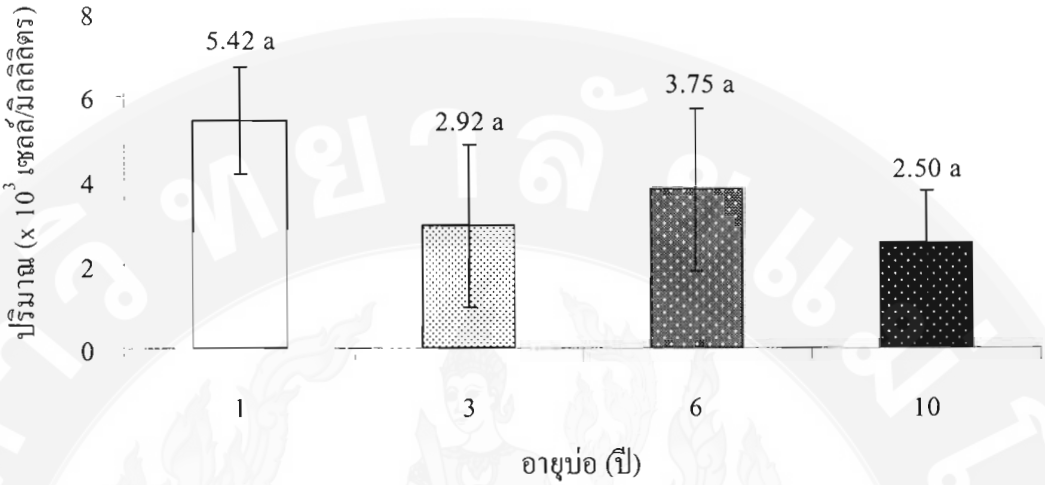
ภาพ 33 ค่าเฉลี่ยจำนวนชนิดของแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Cryptophyta ในบ่อเลี้ยงปลานิลระบบน้ำเขียวโดยเลี้ยงปลานิลในอายุบ่อต่างกัน

1.6 ผลของอายุบ่อต่อปริมาณชนิดแพลงก์ตอนพืช ดิวิชัน Chrysophyta (สาหร่ายคริสโซไฟต์)

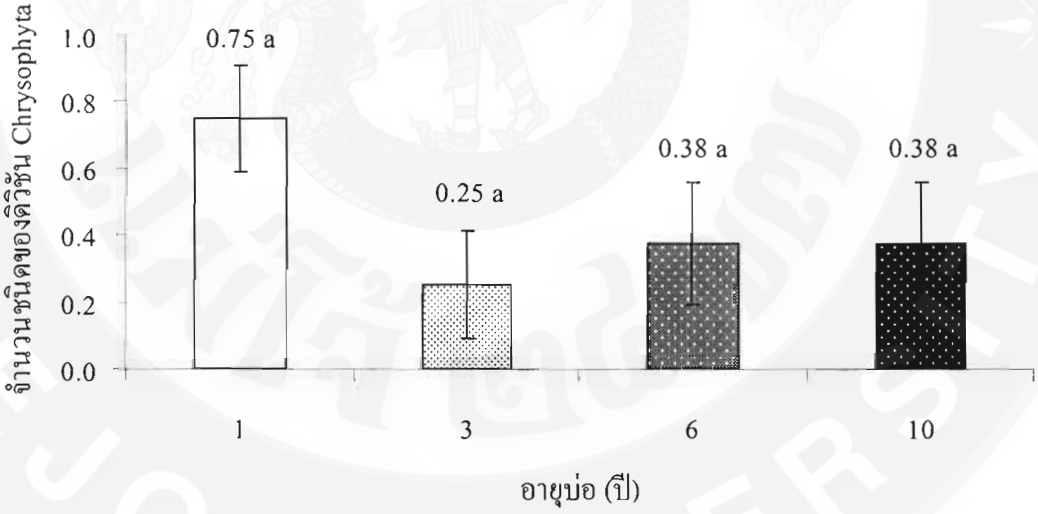
จากการศึกษาปริมาณของแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Chrysophyta ในตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลานิลที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียว โดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อต่างกัน ดังนี้ คือ อายุบ่อ 1, 3, 6 และ 10 ปี ตามลำดับ (ภาพ 34) พบว่า ปริมาณของแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Chrysophyta ในตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียว โดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อ 1 ปี มีปริมาณสูงสุด โดยมีค่าเฉลี่ยของปริมาณแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Chrysophyta เท่ากับ $5.42\pm1.25\times10^{3}$ เซลล์/มิลลิลิตร เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติกับปริมาณแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Chrysophyta ในตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียว โดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อ 3, 6 และ 10 ปี ตามลำดับ พบว่า ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p\geq0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยปริมาณของแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Chrysophyta เท่ากับ 2.92 ± 1.93, 3.75 ± 0.93 และ $2.50\pm1.22\times10^{3}$ เซลล์/มิลลิลิตร ตามลำดับ

ส่วนจำนวนชนิดของแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Chrysophyta ในตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียว โดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อต่างกันดังนี้ คือ อายุบ่อ 1, 3, 6 และ 10 ปี ตามลำดับ (ภาพ 35) พบว่า ชนิดของแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Chrysophyta ในตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียว โดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อ 1 ปี มีค่าเฉลี่ยจำนวนชนิดสูงสุด โดยมีค่าเท่ากับ 0.75 ± 0.16 ชนิด เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติกับจำนวนชนิดของแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Chrysophyta ในตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียว โดยเลี้ยงปลาที่อายุ 3, 6 และ 10 ปี ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 0.25 ± 0.16, 0.38 ± 0.18 และ 0.38 ± 0.18 ชนิด ตามลำดับ พบว่า ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p\geq0.05$) กับค่าเฉลี่ยจำนวนชนิดของแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Chrysophyta ในตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียว โดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อต่างกัน

โดยชนิดของแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Chrysophyta ที่พบ ได้แก่ *Isthmochloron* sp.



ภาพ 34 ค่าเฉลี่ยปริมาณแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Chrysophyta ในบ่อเลี้ยงปลานิลระบบน้ำเขียวโดยเลี้ยงปลานิลในอายุบ่อต่างกัน



ภาพ 35 ค่าเฉลี่ยจำนวนชนิดของแพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Chrysophyta ในบ่อเลี้ยงปลานิลระบบน้ำเขียวโดยเลี้ยงปลานิลในอายุบ่อต่างกัน

ตาราง 9 ปริมาณชนิดแพลงก์ตอนพืชที่พบในบ่อเลี้ยงปลานิลระบบน้ำเขียว

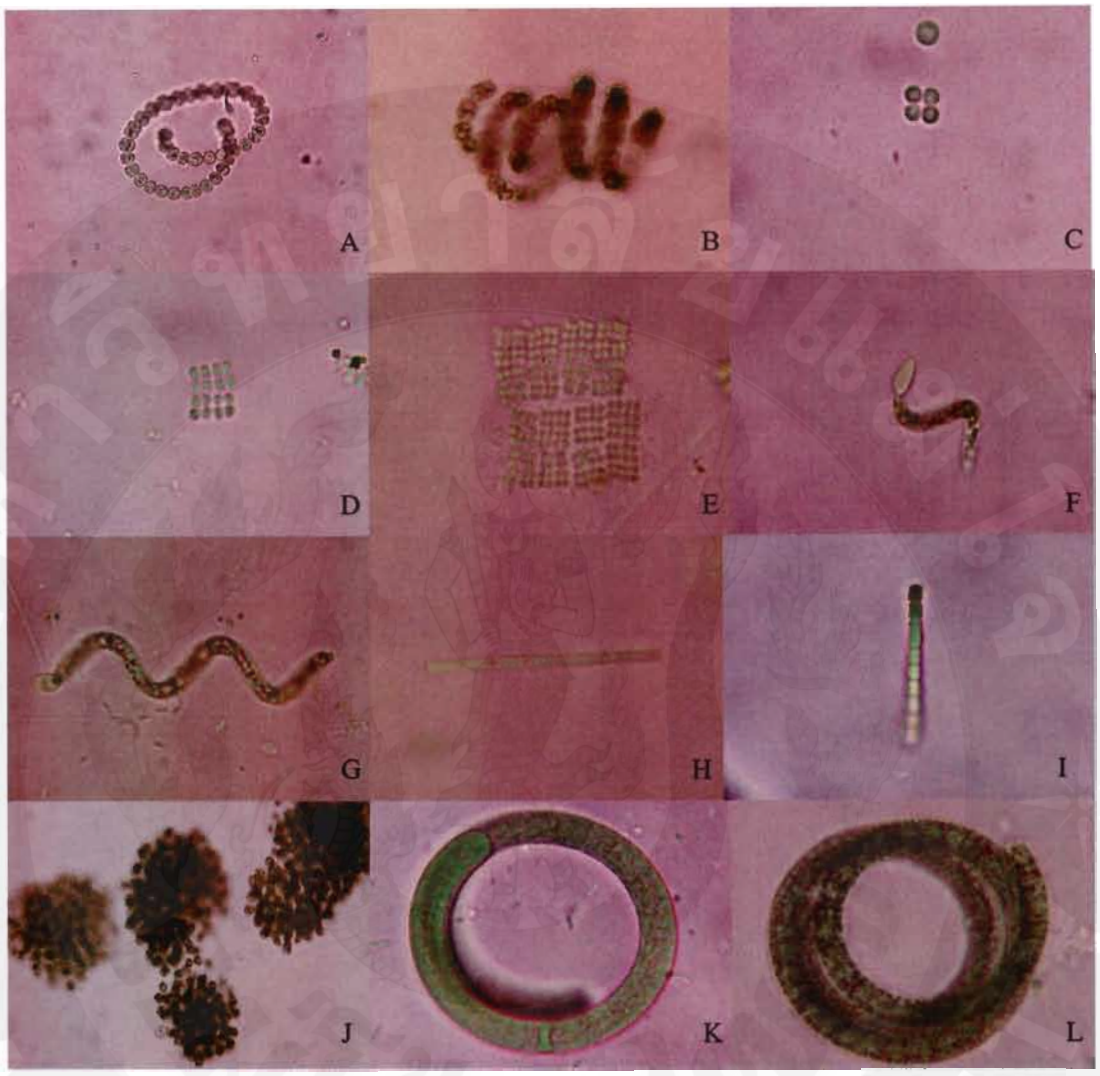
ชนิดของสาหร่ายที่พบ	ปริมาณที่พบ ($\times 10^3$ เซลล์/มิลลิลิตร)			
	อายุบ่อ 1 ปี	อายุบ่อ 3 ปี	อายุบ่อ 6 ปี	อายุบ่อ 10 ปี
Div. Chlorophyta				
Eudorina sp.	38.07	12.50	40.84	15.14
Gonium sp.	65.83	8.33	24.58	7.50
Pandorina sp.	34.85	12.50	27.50	16.95
Pediastrum sp.	186.67	107.08	102.92	78.33
Nephrocytium sp.	2.08	6.67	11.25	10.00
Coelastrum sp.	68.75	92.50	106.67	115.00
Chlorella sp.	330.00	542.92	1072.92	712.92
Ankistrodesmus sp.	26.25	11.67	10.83	12.50
Dictyosphaerium sp.	30.83	65.83	74.58	82.08
Tetraedron sp.	23.75	43.75	31.67	60.00
Actinastrum sp.	35.42	43.75	37.92	37.50
Crucigenia sp.	57.75	83.33	62.92	74.58
Scenedesmus sp.	231.25	228.75	172.08	192.50
Closterium sp.	62.92	55.00	97.08	50.84
Cosmarium sp.	87.50	57.50	62.50	80.00
Euastrum sp.	17.50	11.25	8.33	12.75
Staurastrum sp.	30.83	54.17	65.42	63.33
Chlorogonium sp.	5.83	11.67	10.42	10.00
Radiococcus sp.	44.17	32.92	36.67	69.17
Micractinium sp.	21.67	12.08	14.58	20.42
Monoraphidium sp.	87.08	135.42	51.25	117.92
Crucigeniella sp.	50.83	55.83	34.58	20.00
Golenkinia sp.	2.92	11.67	7.50	8.33
Kirchneriella sp.	22.50	5.42	7.08	11.67

ตาราง 9 (ต่อ)

ชนิดของสาหร่ายที่พบ	ปริมาณที่พบ ($\times 10^3$ เซลล์/มิลลิลิตร)			
	อายุบ่อ 1 ปี	อายุบ่อ 3 ปี	อายุบ่อ 6 ปี	อายุบ่อ 10 ปี
Div. Chlorophyta (ต่อ)				
Selenastrum sp.	44.17	35.42	41.25	29.17
Tetrastrum sp.	42.92	34.17	61.26	36.25
Elakatothrix sp.	37.50	35.00	31.67	30.42
รวม 27 species	62.59	66.93	85.42	73.16
Div. Cyanophyta				
Chroococcus sp.	51.67	56.68	99.58	91.67
Gloeocapsa sp.	20.00	41.67	21.25	46.67
Spirulina sp.	30.00	64.58	62.50	41.67
Merismopedia sp.	112.50	103.33	81.13	83.33
Oscillatoria sp.	123.75	137.08	94.17	111.67
Anabaena sp.	29.17	37.92	34.17	71.67
Cylindrospermopsis sp.	51.67	46.67	35.00	49.17
Microcystis sp.	71.25	82.50	82.92	95.83
Phormidium sp.	11.25	25.42	14.17	55.83
Pseudanabaena sp.	26.25	24.58	20.83	76.67
รวม 10 species	52.75	62.04	54.57	72.42
Div. Bacillariophyta				
Aulacoseira sp.	10.83	12.91	9.58	7.92
Gomphonema sp.	5.83	8.75	8.33	6.25
Gyrosigma sp.	8.33	10.83	8.96	7.08
Navicula sp.	25.83	5.83	14.17	9.58
Nitzschia sp.	10.83	11.25	9.58	7.08
Cyclotella sp.	6.25	4.58	9.17	1.25
รวม 6 species	11.32	9.03	9.97	6.53

ตาราง 9 (ต่อ)

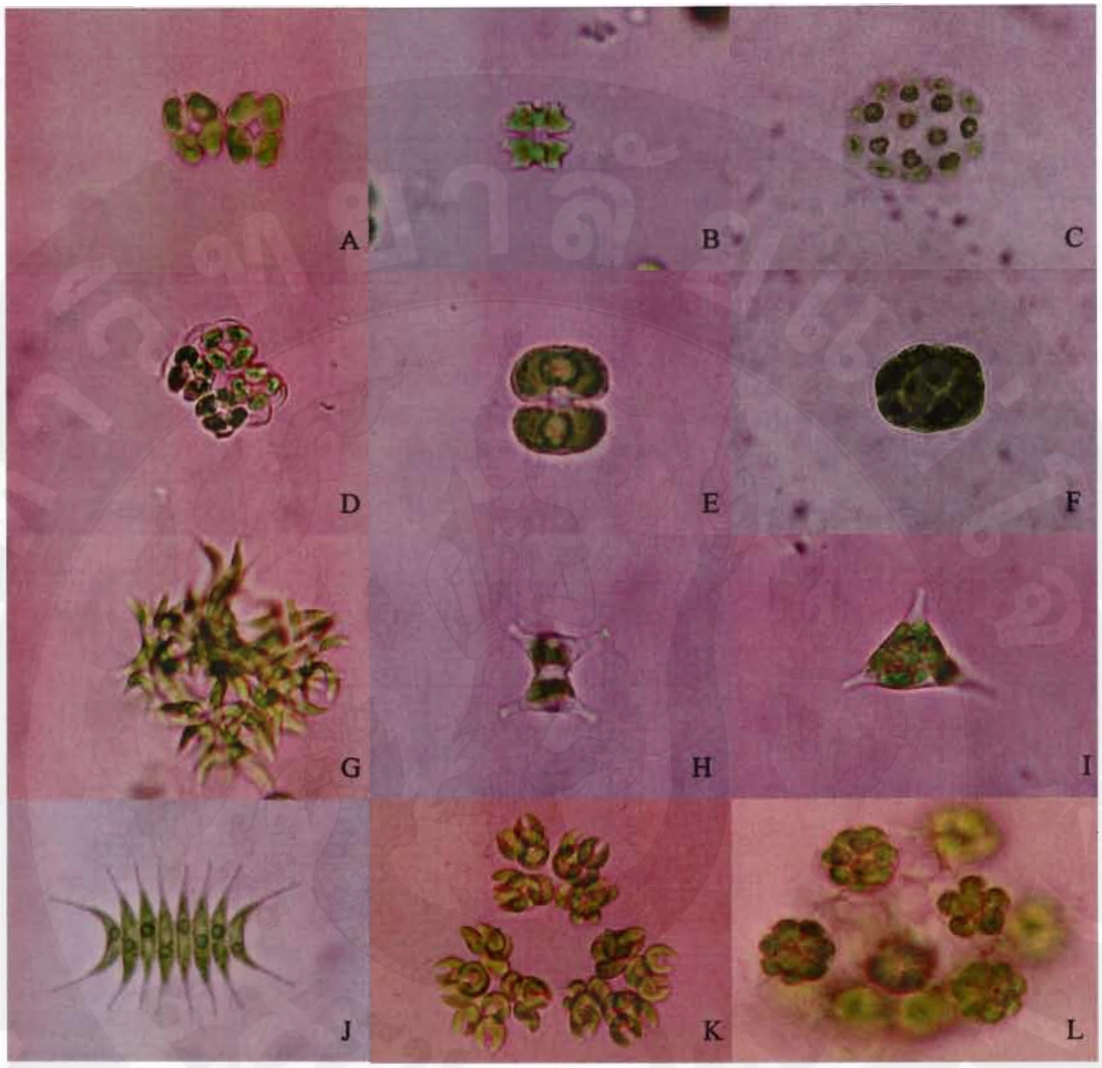
ชนิดของสาหร่ายที่พบ	ปริมาณที่พบ ($\times 10^3$ เซลล์/มิลลิลิตร)			
	อายุบ่อ 1 ปี	อายุบ่อ 3 ปี	อายุบ่อ 6 ปี	อายุบ่อ 10 ปี
Div. Euglenophyta				
Euglena sp.	85.42	30.42	107.50	20.00
Phacus sp.	32.92	56.25	54.17	40.83
Trachelomonas sp.	15.83	19.58	10.83	57.50
รวม 3 species	44.72	35.42	57.50	39.44
Div. Cryptophyta				
Cryptomonas sp.	2.92	6.25	5.00	3.75
รวม 1 species	2.92	6.25	5.00	3.75
Div. Chrysophyta				
Isthmochloron sp.	5.42	2.92	3.75	2.50
รวม 1 species	5.42	2.92	3.75	2.50



(A)-(L) ____Scale bar = 10 μm.

ภาพ 36 แพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Cyanophyta ที่พบในบ่อเลี้ยงปลานิล อ.พาน จ.เชียงราย ระหว่างเดือน พฤศจิกายน 2551 ถึง มิถุนายน 2552

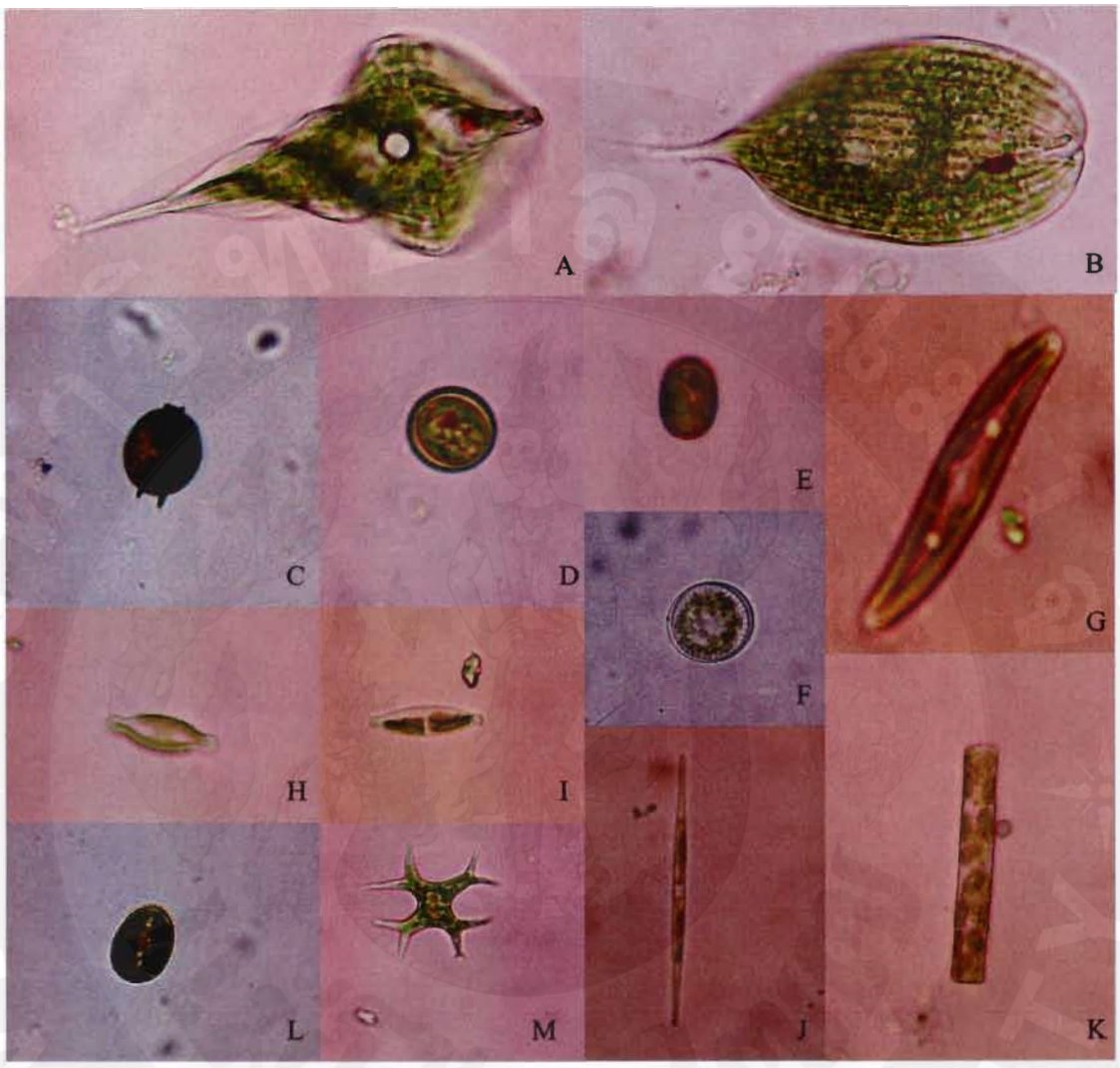
Cyanophyta: A) *Anabaena hilicoidea* Bernard. B) *A. spiroides* Klebahn., C) *Chroococcus minutus* (Kützing) Naegeli., D) *Merismopedia elegans* A. Braun., E) *M. convolute* Brébission., F) *Cylindrospermopsis raciborskii* (Wolosz.)., G) *C. phillippinensis* (Taylor)Ka., H) *Phormidium tenue* (Meneghini) Gomont., I) *Pseudanabaena catenata* Lauterborn., J) *Microcystis aeruginosa* Kütz., K) *Oscillatoria tenuis* Gardiner, L) *Oscillatoria limosa* C. Aghardh.



(A)-(L) ____Scale bar = 10 µm

ภาพ 37 แพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Chlorophyta ที่พบในบ่อเลี้ยงปลานิล อ.พาน จ.เชียงราย ระหว่างเดือน พฤศจิกายน 2551 ถึง มิถุนายน 2552

Chlorophyta: A) *Crucigenia crucifera* (Wolle) Collins., B) *Euastrum denticulatum* F. Gay., C) *Eudorina* sp., D) *Cruciginiella* sp., E) *Cosmarium punctulatum* Brébisson., F) *Pandorina* sp., G) *Selenastrum Westii* G.M. Smith., H) *Staurastrum gracile* Ralfs., I) *Tetraedron trigonum* (Naegeli) Hansgirg., J) *Scenedesmus acuminatus* (Lagerheim) Chodat., K) *Kirchneriella lunaris* (Kirchner) Schmidle., L) *Coelastrum lecticulatum* (P.A.Dangeard) Senn.



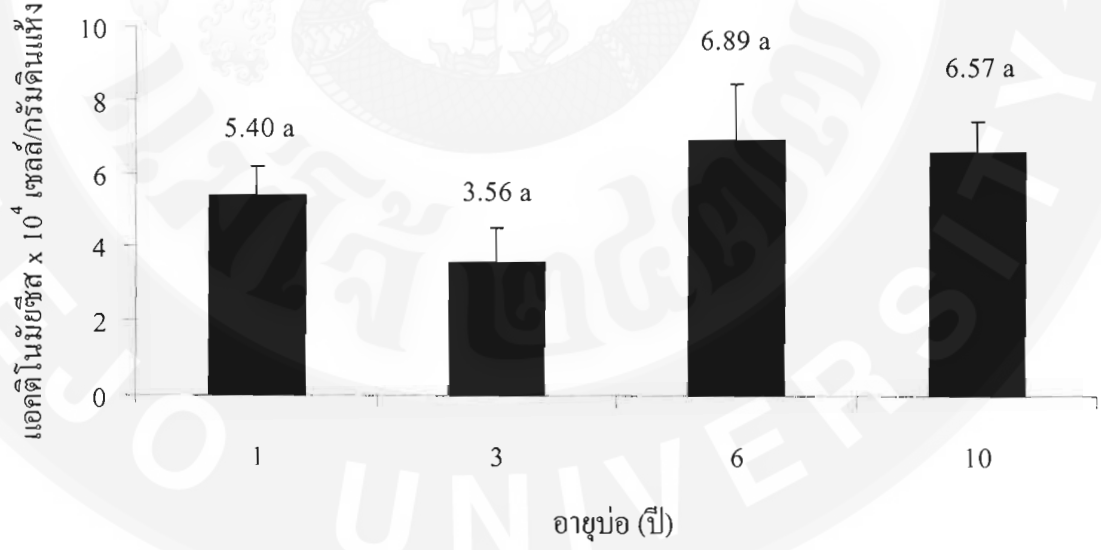
(A)-(M) ____Scale bar = 10 μm.

ภาพ 38 แพลงก์ตอนพืชดิวิชัน Euglenophyta, Bacillariophyta, Cryptophyta และ Chrysophyta ที่พบในบ่อเลี้ยงปลานิล อ.พาน จ.เชียงราย ระหว่างเดือน พฤศจิกายน 2551 ถึง มิถุนายน 2552

Euglenophyta: A) *Phacus helikoides* Pochmann., B) *Phacus ranula* Pochmann., C) *Trachelomonas armata* (Ehrenberg) F. Stein., D) *T. volvocinopsis* Svirenko., E) *T. Cylindrica* (Ehrenberg) Playfair., F) *Cyclotella meneghiniana* Kützing., **Bacillariophyta**: G) *Gyrosigma* sp., H) *Gomphonema* sp., I) *Navicula* sp., J) *Nitzschia* sp. K) *Aulacoseira granulate* (Ehrenberg) Simonsen., **Cryptophyta**: L) *Cryptomonas* sp., **Chrysophyta**: M) *Ishmochloron gracile* (Reinch).

2. ผลของอายุบ่อต่อปริมาณแบคทีเรียแอคติโนมัยซีส

จากการศึกษาปริมาณแบคทีเรียแอคติโนมัยซีสในดินพื้นบ่อเลี้ยงปลานิลด้วยระบบน้ำเขียวโดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อต่างกัน ดังนี้ คือ อายุบ่อ 1, 3, 6 และ 10 ปี ตามลำดับ (ภาพ 39) โดยนำตัวอย่างดินพื้นบ่อ (แบคทีเรียแอคติโนมัยซีส) มาเลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ IMA-2 โดยทำการบ่มไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 7 วัน พบว่าแบคทีเรียแอคติโนมัยซีสมีลักษณะของโคโลนีเป็นวงกลมสีขาว (ภาพ 40) และพบว่าปริมาณแบคทีเรียแอคติโนมัยซีสที่แยกได้จากตัวอย่างดินพื้นบ่อที่มีการเลี้ยงปลานิลด้วยระบบน้ำเขียวที่อายุบ่อ 6 ปี มีค่าเฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ $6.89\pm1.53\times10^4$ เซลล์/กรัมของน้ำหนักดินแห้ง ส่วนปริมาณแบคทีเรียแอคติโนมัยซีสที่แยกได้จากตัวอย่างดินพื้นบ่อที่มีการเลี้ยงปลานิลด้วยระบบน้ำเขียวที่อายุบ่อ 1, 3 และ 10 ปี ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 5.40 ± 0.79, 3.56 ± 0.95 และ $6.57\pm0.83\times10^4$ เซลล์/กรัมของน้ำหนักดินแห้ง ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติ พบว่าปริมาณแบคทีเรียแอคติโนมัยซีสที่แยกได้จากตัวอย่างดินพื้นบ่อที่มีการเลี้ยงปลานิลด้วยระบบน้ำเขียวที่อายุบ่อต่างกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p\geq0.05$)



ภาพ 39 ค่าเฉลี่ยปริมาณแอคติโนมัยซีส ($\times10^4$ เซลล์/กรัมดินแห้ง) ของดินพื้นบ่อเลี้ยงปลานิลในระบบน้ำเขียวที่อายุบ่อต่างกัน

ภาพ 40 ลักษณะโคโลนีของแบคทีเรียแอคติโนมัยซีสจากดินพื้นบ่อเลี้ยงปลานิลระบบน้ำเขียวในระดับความเจือจางที่ 10^{-4}

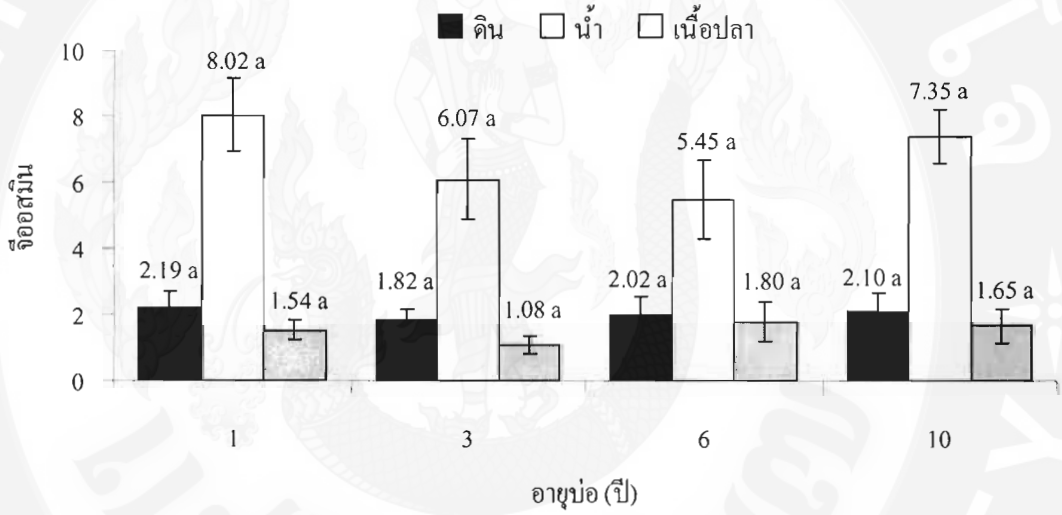
3. ผลของอายุบ่อต่อปริมาณสารจีออสมินและเอ็มไอบีในดินพื้นบ่อ น้ำ และเนื้อปลานิล จากบ่อเลี้ยงปลานิลระบบน้ำเขียว

3.1 ปริมาณสารจีออสมินในดินพื้นบ่อ น้ำ และเนื้อปลา จากบ่อเลี้ยงปลานิลระบบน้ำเขียว

จากการศึกษาปริมาณสารจีออสมินในดินพื้นบ่อเลี้ยงปลานิลด้วยระบบน้ำเขียวโดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อต่างกัน ดังนี้ คือ อายุบ่อ 1, 3, 6 และ 10 ปี ตามลำดับ (ภาพ 41) พบว่าปริมาณสารจีออสมินในดินพื้นบ่อเลี้ยงปลานิลด้วยระบบน้ำเขียวโดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อ 1 ปี มีค่าเฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ 2.19±0.53 ไมโครกรัม/กิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างกับปริมาณสารจีออสมินในดินพื้นบ่อเลี้ยงปลานิลด้วยระบบน้ำเขียวอายุบ่อ 3, 6 และ 10 ปี ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 1.82±0.35, 2.02±0.50 และ 2.10±0.56 ไมโครกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ พบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ส่วนการศึกษาปริมาณสารจีออสมินในน้ำจากบ่อเลี้ยงปลานิลด้วยระบบน้ำเขียวโดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อต่างกัน พบว่าปริมาณสารจีออสมินในน้ำจากบ่อเลี้ยงปลานิลด้วยระบบน้ำเขียวโดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อ 1 ปี มีค่าเฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ 8.02±1.11 ไมโครกรัม/ลิตร เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างกับปริมาณสารจีออสมินในน้ำบ่อเลี้ยงปลานิลด้วยระบบน้ำเขียวอายุบ่อ 3, 6 และ 10 ปี ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 6.07±1.22, 5.45±1.19 และ 7.35±0.83 ไมโครกรัม/ลิตร ตามลำดับ พบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

และปริมาณสารจืออสมินในเนื้อปลานิลที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียวโดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อต่างกัน พบว่าปริมาณสารจืออสมินในเนื้อปลาที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียวโดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อ 6 ปี มีค่าเฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ 1.80±0.60 ไมโครกรัม/กิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างกับปริมาณสารจืออสมินในเนื้อปลาที่เลี้ยงปลานิลด้วยระบบน้ำเขียวที่อายุบ่อ 3, 6 และ 10 ปี ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 1.54±0.30, 1.08±0.28 และ 1.65±0.56 ไมโครกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ พบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณสารจืออสมินในเนื้อปลาที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียว ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p \geq 0.05$)



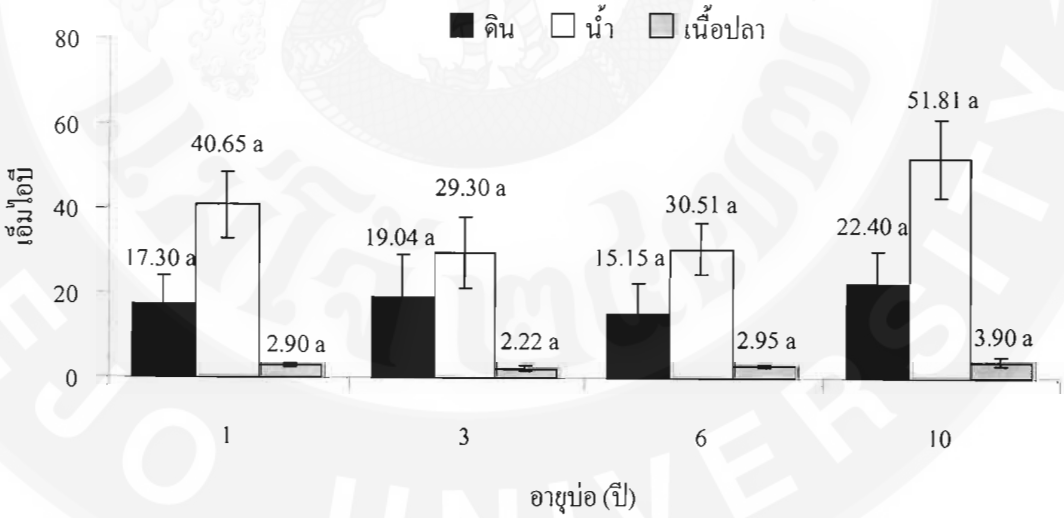
ภาพ 41 ค่าเฉลี่ยปริมาณสารจืออสมินในดินพื้นบ่อ น้ำ และเนื้อปลา จากบ่อเลี้ยงปลานิลด้วยระบบน้ำเขียวโดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อต่างกัน

3.2 ปริมาณสารเอ็มไอบีในดินพื้นบ่อ น้ำ และเนื้อปลา จากบ่อเลี้ยงปลานิลที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียว

จากการศึกษาปริมาณสารเอ็มไอบีในดินพื้นบ่อเลี้ยงปลานิลด้วยระบบน้ำเขียวโดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อต่างกัน ดังนี้ คือ อายุบ่อ 1, 3, 6 และ 10 ปี ตามลำดับ (ภาพ 42) พบว่าปริมาณสารเอ็มไอบีในดินพื้นบ่อเลี้ยงปลานิลด้วยระบบน้ำเขียวโดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อ 10 ปี มีค่าเฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ 22.40±7.39 ไมโครกรัม/กิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างกับปริมาณสารเอ็มไอบีในดินพื้นบ่อเลี้ยงปลานิลด้วยระบบน้ำเขียวอายุบ่อ 1, 3 และ 6 ปี ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 17.30±6.67, 19.04±9.81 และ 15.15±7.24 ไมโครกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ พบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ส่วนการศึกษาปริมาณสารเอ็มไอบีในน้ำบ่อเลี้ยงปลานิลด้วยระบบน้ำเขียวโดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อต่างกัน พบว่าปริมาณสารเอ็มไอบีในน้ำบ่อเลี้ยงปลานิลด้วยระบบน้ำเขียวโดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อ 1 ปี มีค่าเฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ 40.65±7.62 ไมโครกรัม/ลิตร เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างกับปริมาณสารเอ็มไอบีในน้ำบ่อเลี้ยงปลานิลด้วยระบบน้ำเขียวอายุบ่อ 1, 3 และ 6 ปี ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 29.30±8.40, 30.51±5.99 และ 51.81±9.16 ไมโครกรัม/ลิตร ตามลำดับ พบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

และการศึกษาปริมาณสารเอ็มไอบีในเนื้อปลานิลที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียวโดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อต่างกัน พบว่าปริมาณสารเอ็มไอบีในเนื้อปลาที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียวโดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อ 10 ปี มีค่าเฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ 3.90±1.02 ไมโครกรัม/กิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างกับความปริมาณสารเอ็มไอบีในเนื้อปลาที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียวโดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อ 1, 3 และ 6 ปี มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 2.90±0.50, 2.22±0.72 และ 2.95±0.49 ไมโครกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ พบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณสารเอ็มไอบีในเนื้อปลาที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียวที่อายุบ่อต่างกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

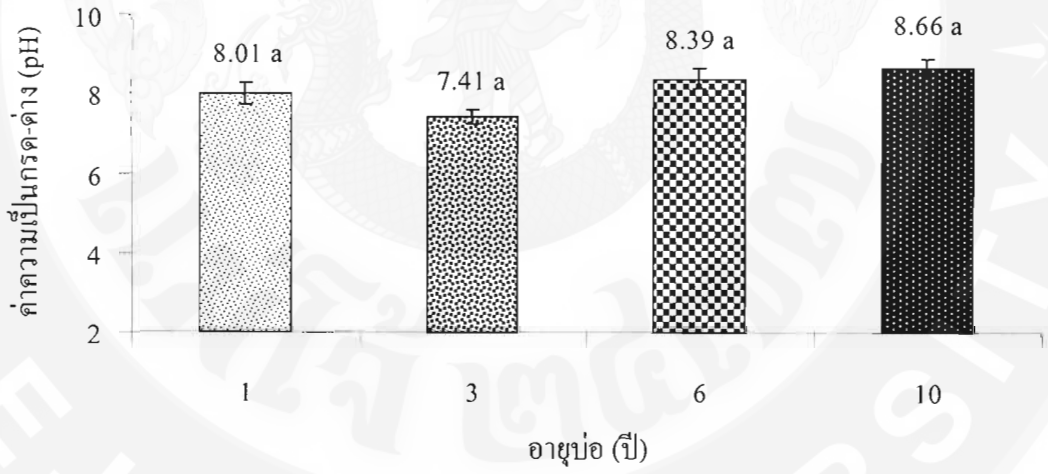


ภาพ 42 ค่าเฉลี่ยปริมาณเอ็มไอบีในดินพื้นบ่อ น้ำ และเนื้อปลา จากบ่อเลี้ยงปลานิลด้วยระบบน้ำเขียวโดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อต่างกัน

4. คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลานิลที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียว

4.1 ความเป็นกรด-ด่าง

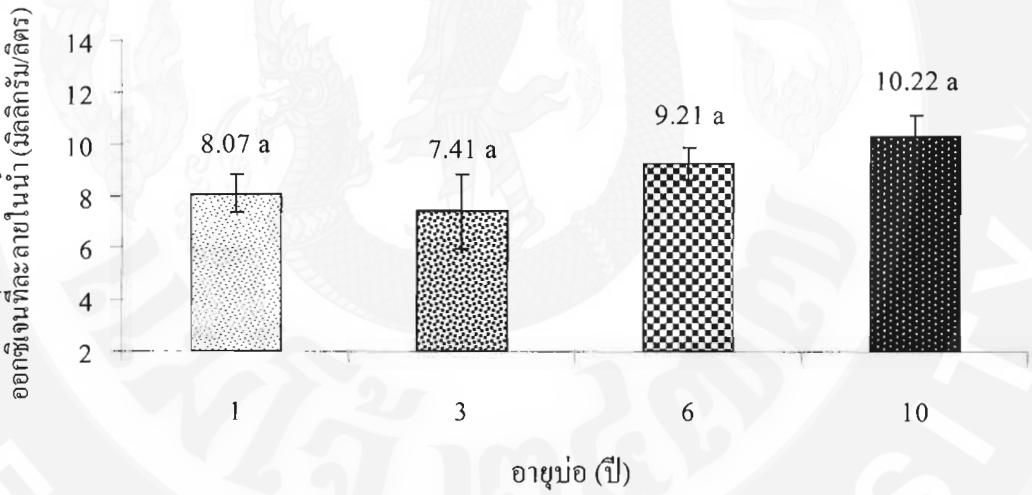
จากการศึกษาคุณภาพน้ำระหว่างการทดลอง ในตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลานิลที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียว โดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อต่างกัน ดังนี้ คือ อายุบ่อ 1, 3, 6 และ 10 ปี ตามลำดับ (ภาพ 43) พบว่าปริมาณความเป็นกรด-ด่าง ในตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาด้วยระบบน้ำเขียว โดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อ 10 ปี มีค่าเฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ 8.66±0.22 เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติกับปริมาณความเป็นกรด-ด่าง ในตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาด้วยระบบน้ำเขียว โดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อ 1, 3 และ 6 ปี ตามลำดับ พบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยของปริมาณความเป็นกรด-ด่าง ในตัวอย่างน้ำ เท่ากับ 8.01±0.26, 7.41±0.19 และ 8.39±0.26 ตามลำดับ



ภาพ 43 ค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่าง ในน้ำของบ่อเลี้ยงปลานิลระบบน้ำเขียวโดยเลี้ยงปลานิลในอายุบ่อต่างกัน

4.2 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ

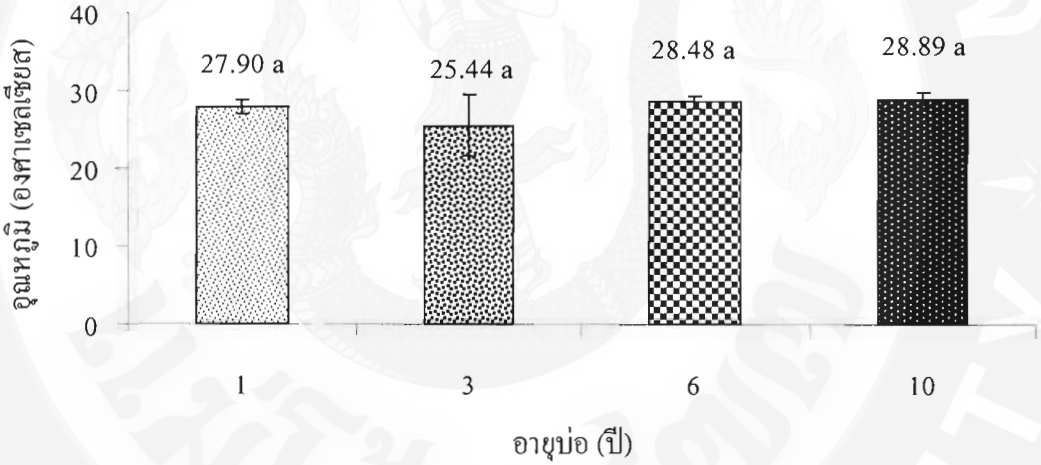
จากการศึกษาปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (มิลลิกรัม/ลิตร) ในตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลานิลที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียว โดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อต่างกัน ดังนี้ คือ อายุบ่อ 1, 3, 6 และ 10 ปี ตามลำดับ (ภาพ 44) พบว่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ในตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียว โดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อ 10 ปี มีค่าเฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ 10.22±0.90 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติกับปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำในตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียวโดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อ 1, 3 และ 6 ปี ตามลำดับ พบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยของปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำในตัวอย่างน้ำ เท่ากับ 8.07±0.75, 7.41±1.42 และ 9.21±0.60 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ



ภาพ 44 ค่าเฉลี่ยปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ในน้ำของบ่อเลี้ยงปลานิลระบบน้ำเขียวโดยเลี้ยงปลานิลในอายุบ่อต่างกัน

4.3 อุณหภูมิ

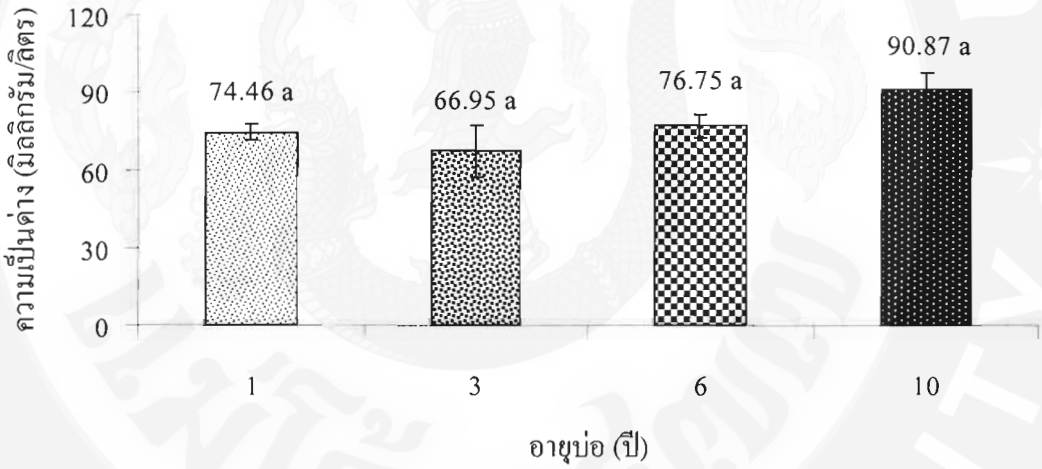
จากการศึกษาอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ในตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลานิลที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียว โดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อต่างกัน ดังนี้ คือ อายุบ่อ 1, 3, 6 และ 10 ปี ตามลำดับ (ภาพ 45) พบว่าอุณหภูมิในตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียว โดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อ 10 ปี มีค่าเฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ 28.89±0.80 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติกับอุณหภูมิน้ำในตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียวโดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อ 1, 3 และ 6 ปี ตามลำดับ พบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิน้ำ เท่ากับ 27.90±0.92, 25.44±3.96 และ 28.48±0.85 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



ภาพ 45 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ ในน้ำของบ่อเลี้ยงปลานิลระบบน้ำเขียวโดยเลี้ยงปลานิลในอายุบ่อต่างกัน

4.4 ความเป็นด่าง

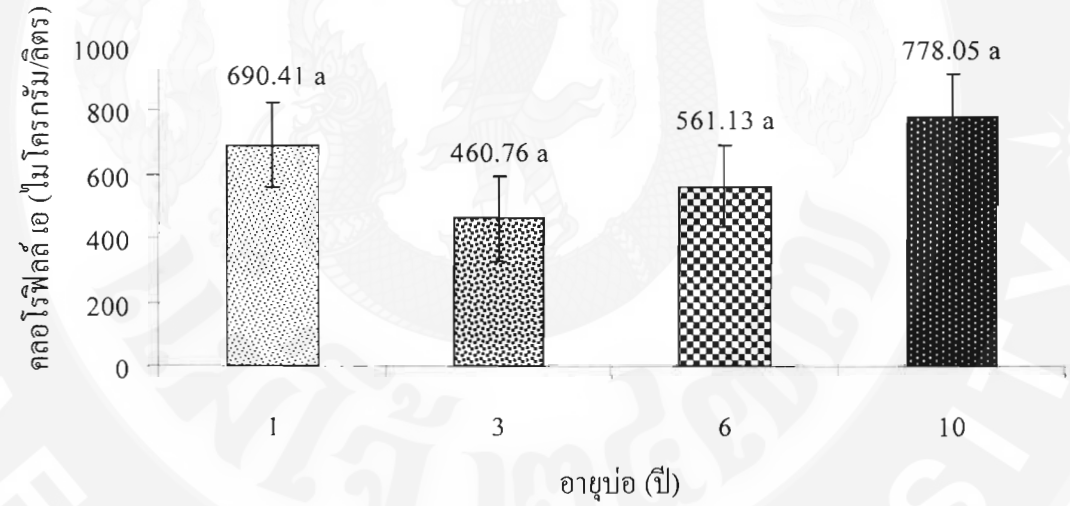
จากการศึกษาความเป็นด่าง (มิลลิกรัม/ลิตร) ในตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลานิลที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียว โดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อต่างกัน ดังนี้ คือ อายุบ่อ 1, 3, 6 และ 10 ปี ตามลำดับ (ภาพ 46) พบว่า ความเป็นด่างในตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียว โดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อ 10 ปี มีค่าเฉลี่ยสูงสุด คือ 90.87±6.27 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติกับความเป็นด่างในตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียว โดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อ 1, 3 และ 6 ปี ตามลำดับ พบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยของความเป็นด่างเท่ากับ 74.46±3.14, 66.95±10.26 และ 76.75±4.49 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ



ภาพ 46 ค่าเฉลี่ยความเป็นด่าง ในน้ำของบ่อเลี้ยงปลานิลระบบน้ำเขียวโดยเลี้ยงปลานิลในอายุบ่อต่างกัน

4.5 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ

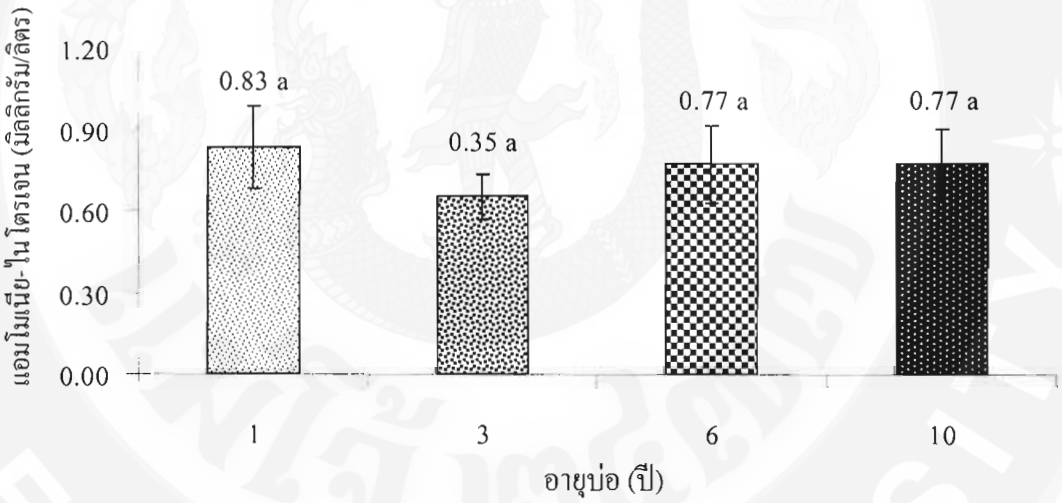
จากการศึกษาปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (ไมโครกรัม/ลิตร) ในตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลานิลที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียว โดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อต่างกัน ดังนี้ คือ อายุบ่อ 1, 3, 6 และ 10 ปี ตามลำดับ (ภาพ 47) พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียว โดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อ 10 ปี มีค่าเฉลี่ยสูงสุด คือ 778.05±138.12 ไมโครกรัม/ลิตร เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติกับปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลานิลที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียว โดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อ 1, 3 และ 6 ปี ตามลำดับ พบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยของปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ เท่ากับ 690.41±131.74, 460.76±134.11 และ 561.13±128.30 ไมโครกรัม/ลิตร ตามลำดับ



ภาพ 47 ค่าเฉลี่ยปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในน้ำของบ่อเลี้ยงปลานิลระบบน้ำเขียวโดยเลี้ยงปลานิลในอายุบ่อต่างกัน

4.6 ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน

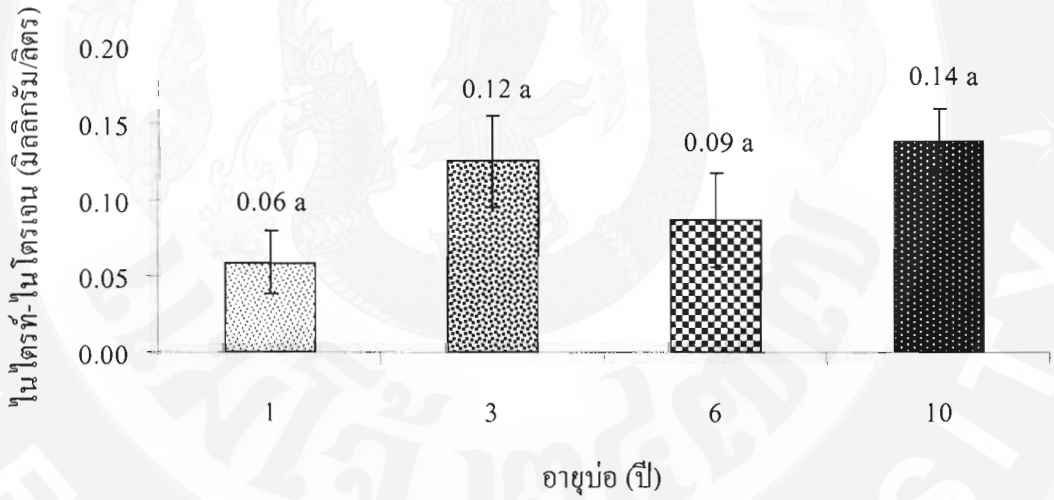
จากการศึกษาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (มิลลิกรัม/ลิตร) ในตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลานิลที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียว โดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อต่างกัน ดังนี้ คือ อายุบ่อ 1, 3, 6 และ 10 ปี ตามลำดับ (ภาพ 48) พบว่าปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ในตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียว โดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อ 1 ปี มีค่าเฉลี่ยสูงสุด คือ 0.83±0.15 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติกับปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ในตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียว โดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อ 3, 6 และ 10 ปี ตามลำดับ พบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยของปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน เท่ากับ 0.35±0.08, 0.77±0.14 และ 0.77±0.13 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ



ภาพ 48 ค่าเฉลี่ยปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ในน้ำของบ่อเลี้ยงปลานิลระบบน้ำเขียวโดยเลี้ยงปลานิลในอายุบ่อต่างกัน

4.7 ปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจน

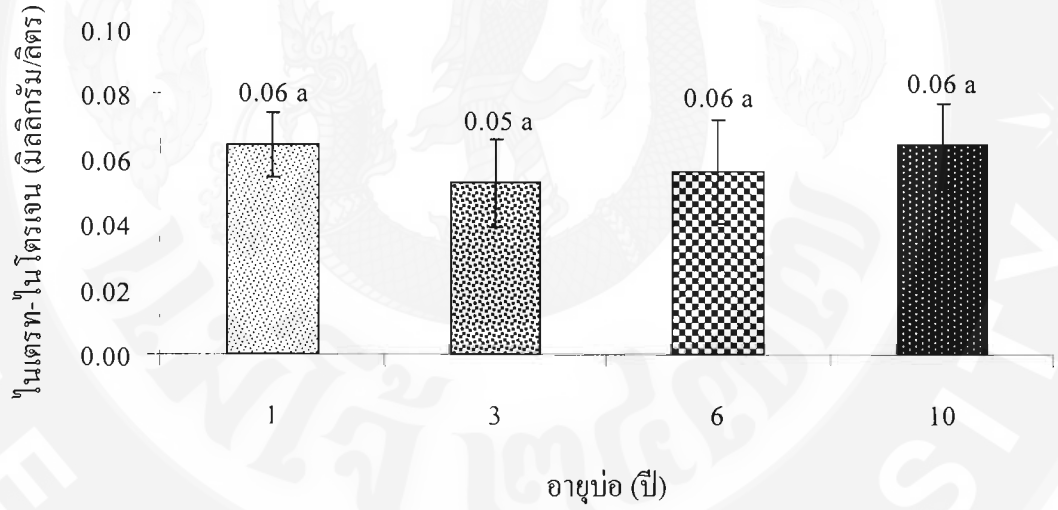
จากการศึกษาปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจน (มิลลิกรัม/ลิตร) ในตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลานิลที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียว โดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อต่างกัน ดังนี้ คือ 1, 3, 6 และ 10 ปี ตามลำดับ (ภาพ 49) พบว่าปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจน ในตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาด้วยระบบน้ำเขียวโดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อ 10 ปี มีค่าเฉลี่ยสูงสุด คือ 0.14±0.05 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติกับปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจน ในตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียว โดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อ 1, 3 และ 6 ปี ตามลำดับ พบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยของปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจน เท่ากับ 0.06±0.02, 0.12±0.04 และ 0.09±0.03 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ



ภาพ 49 ค่าเฉลี่ยปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจน ในน้ำของบ่อเลี้ยงปลานิลระบบน้ำเขียวโดยเลี้ยงปลานิลในอายุบ่อต่างกัน

4.8 ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน

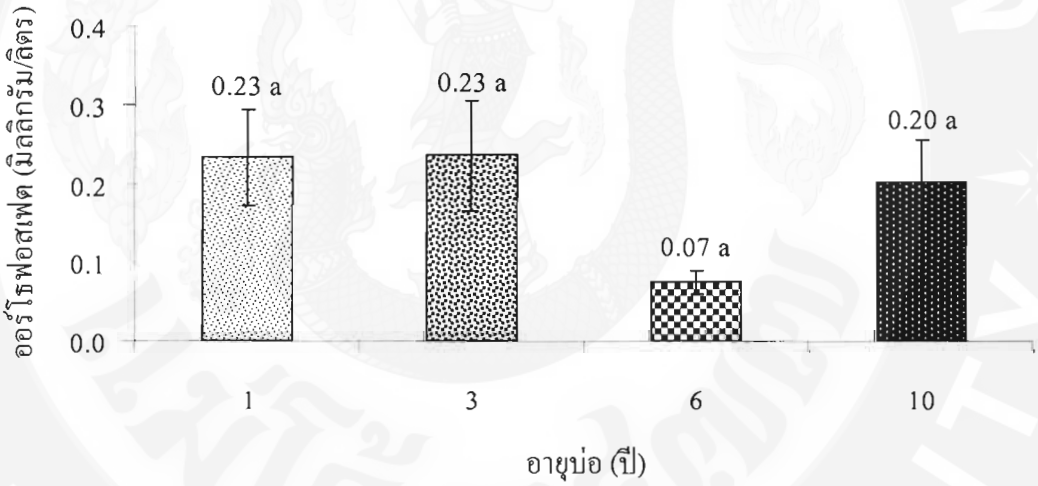
จากการศึกษาปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน (มิลลิกรัม/ลิตร) ในตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลานิลที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียว โดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อที่ต่างกัน คือ 1, 3, 6 และ 10 ปี ตามลำดับ (ภาพ 50) พบว่าปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน ในตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาด้วยระบบน้ำเขียว โดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อ 1 และ 6 ปี ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ 0.06±0.02 และ 0.06±0.02 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติกับปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน ในตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียว โดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อ 3 และ 10 ปี ตามลำดับ พบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยของปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน เท่ากับ 0.05±0.01 และ 0.06±0.01 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ



ภาพ 50 ค่าเฉลี่ยปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน ในน้ำของบ่อเลี้ยงปลานิลระบบน้ำเขียวโดยเลี้ยงปลานิลที่อายุบ่อต่างกัน

4.9 ปริมาณออร์โธฟอสเฟต

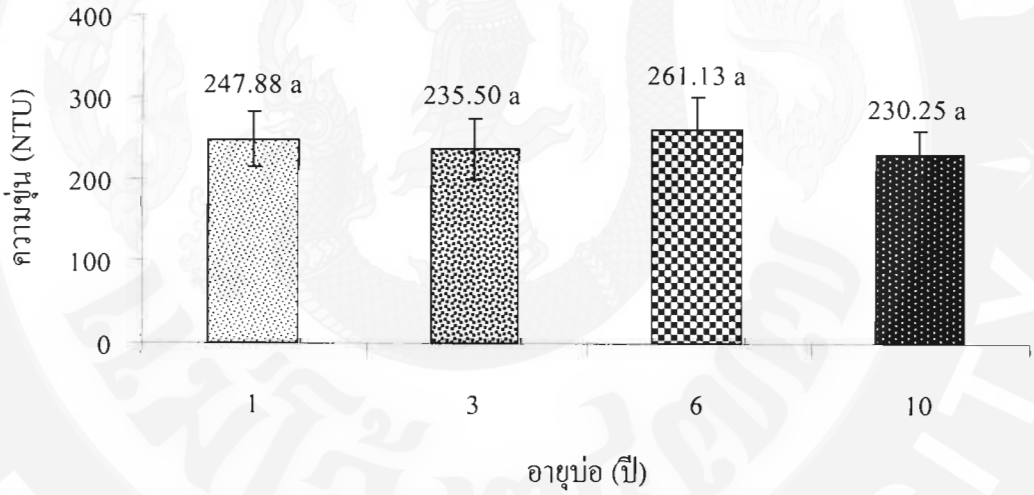
จากการศึกษาปริมาณออร์โธฟอสเฟต (มิลลิกรัม/ลิตร) ในตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลานิลที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียว โดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อต่างกัน ดังนี้ คือ 1, 3, 6 และ 10 ปี ตามลำดับ (ภาพ 51) พบว่าปริมาณออร์โธฟอสเฟต ในตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาด้วยระบบน้ำเขียว โดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อ 1 ปี มีค่าเฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ 0.23±0.10 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติกับปริมาณออร์โธฟอสเฟต ในตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาด้วยระบบน้ำเขียว โดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อ 3, 6 และ 10 ปี ตามลำดับ พบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยของปริมาณออร์โธฟอสเฟต เท่ากับ 0.23±0.09, 0.07±0.01 และ 0.20±0.05 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ



ภาพ 51 ค่าเฉลี่ยปริมาณออร์โธฟอสเฟต ในน้ำของบ่อเลี้ยงปลานิลระบบน้ำเขียวโดยเลี้ยงปลานิลที่อายุบ่อต่างกัน

4.10 ความขุ่น

จากการศึกษาปริมาณความขุ่น (NTU) ในตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลานิลที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียว โดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อต่างกัน ดังนี้ คือ 1, 3, 6 และ 10 ปี ตามลำดับ (ภาพ 52) พบว่าปริมาณความขุ่นในตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาด้วยระบบน้ำเขียว โดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อ 6 ปี มีค่าเฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ 261.13±39.15 NTU เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติกับปริมาณความขุ่นในตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาด้วยระบบน้ำเขียว โดยเลี้ยงปลาที่อายุบ่อ 1, 3 และ 10 ปี พบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยของความขุ่น เท่ากับ 247.88±34.51 , 235.50±37.65 และ 230.25±27.38 NTU ตามลำดับ



ภาพ 52 ค่าเฉลี่ยปริมาณความขุ่น ในน้ำของบ่อเลี้ยงปลานิลระบบน้ำเขียวโดยเลี้ยงปลานิลที่อายุบ่อต่างกัน

บทที่ 5
วิจารณ์ผลการวิจัย

การทดลองที่ 1: ศึกษาผลของระบบการผลิต (การเลี้ยงปลานิลในกระชังและบ่อดิน) ต่อการสะสมกลิ่นโคลนในเนื้อปลานิล

ปลานิลเป็นปลาน้ำจืดตัวหลักที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจมากเป็นอันดับต้น ๆ ยิ่งกว่านั้นเนื้อปลานิลก็เป็นที่นิยมบริโภคทั้งภายในประเทศและเป็นสินค้าส่งออกสู่ตลาดต่างประเทศ การเพิ่มมูลค่าของสินค้าเนื้อปลานิลส่งออกจำเป็นที่สินค้าจะต้องปลอดกลิ่นโคลนหรือกลิ่นไม่พึงประสงค์ แต่ปัญหาบางประการที่เป็นอุปสรรคในการส่งออก ได้แก่ กลิ่นโคลนที่สะสมในเนื้อปลา โดยเฉพาะการเลี้ยงปลานิลต้องคำนึงถึงระบบการผลิตปลา (เลี้ยงปลาในกระชังและบ่อดิน) เป็นสำคัญ ซึ่งอาจส่งผลต่อเนื้อปลาที่เลี้ยงในระบบการผลิตต่าง ๆ อาจมีการปนเปื้อนกลิ่นไม่พึงประสงค์ได้ เนื่องจากปลานิลได้รับสารจีออสมินและเอ็มไอบี สาเหตุหลักเกิดจากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินหรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าไซยาโนแบคทีเรียและแบคทีเรียแอคติโนมัยซีสที่สังเคราะห์กลิ่นโคลน ในปัจจุบันเกษตรกรมีความต้องการที่จะลดต้นทุนการผลิตอาหารสัตว์น้ำโดยการเลี้ยงปลานิลแบบใช้อาหารเม็ดอย่างเดียวควบคู่ไปกับการเลี้ยงปลาแบบผสมผสานหรือการเลี้ยงปลาร่วมกับสัตว์บก โดยเฉพาะอย่างยิ่งมูลของสัตว์จะก่อให้เกิดอาหารธรรมชาติภายในบ่อเลี้ยงปลานิลและเป็นที่น่าสังเกตว่าปลานิลเป็นปลาน้ำจืดชนิดหนึ่งที่ใช้ประโยชน์จากอาหารธรรมชาติในบ่อปลาได้เป็นอย่างดี จึงทำให้ปลามีโอกาสกินแพลงก์ตอนพืชหรือสาหร่ายขนาดเล็กในน้ำบ่อเลี้ยงปลาได้ เมื่อเป็นเช่นนี้จึงทำให้เกิดการสะสมของกลิ่นโคลนในเนื้อปลานิล สำหรับการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อเปรียบเทียบระบบการผลิตสัตว์น้ำ 2 ระบบ ได้แก่ การเลี้ยงปลานิลในกระชังและบ่อดิน เพื่อทราบระดับกลิ่นโคลน (จีออสมินและเอ็มไอบี) ในเนื้อปลานิล และน้ำ จากระบบการผลิต

จากการผลศึกษาปริมาณกลิ่นโคลนที่สะสมในเนื้อปลานิลที่เลี้ยงในระบบการผลิตต่างกัน 2 ระบบ จากกระชังและบ่อดิน พบว่าปริมาณสารจีออสมินและเอ็มไอบีในเนื้อปลาจากปลานิลที่เลี้ยงในบ่อดินพบในปริมาณที่ค่อนข้างสูงกว่าในเนื้อปลาจากปลานิลที่เลี้ยงในกระชัง เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ กรทิพย์ (2550) ได้ศึกษาการสะสมกลิ่นโคลนในเนื้อปลานิลแดงที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียว พบว่ามีปริมาณสารจีออสมินสะสมในเนื้อปลานิลแดงเฉลี่ยเท่ากับ 22.8±4.4-205.4±35.9 นาโนกรัม/กิโลกรัม ส่วน Whangchai *et al.* (2008) ได้รายงานไว้ว่าปลานิลแดงที่ได้รับอาหารเต็มที่มีแนวโน้มของการสะสมจีออสมินและเอ็มไอบีน้อยกว่าปลานิลแดงที่ไม่ให้อาหาร เช่นเดียวกับ วิทยา (2551) รายงานว่า ปริมาณสารจีออสมินและเอ็มไอบีในปลานิลแดงที่เลี้ยงด้วย

ระบบน้ำเขียวร่วมกับการให้อาหารเม็ดสำเร็จรูปจะมีปริมาณจีออสมิน และเอ็มไอบีน้อยกว่าปลานิลแดงที่ไม่ให้อาหาร จากรายงานของ สุพรรษา (2552) ศึกษาการลดกลิ่นโคลนในเนื้อปลานิลแดงโดยวิธีการจัดการด้านอาหารโดยการเลี้ยงปลานิลแดง พบว่าเมื่อเริ่มให้อาหารก่อนเก็บเกี่ยวผลผลิต 30 วัน ตั้งแต่เดือนที่ 7 จนถึงเดือนที่ 8 สามารถลดปริมาณสารจีออสมินและเอ็มไอบีในเนื้อปลานิลแดง 67.42 และ 22.58 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนั้น Robertson *et al.* (2006) ได้ตรวจสอบความเข้มข้นปริมาณสารจีออสมินจากตัวอย่างน้ำในฟาร์มเลี้ยงปลาเทร้าท์ประเทศอังกฤษ พบว่าน้ำที่นำมาเลี้ยงปลาเทร้าท์มีความเข้มข้นของสารจีออสมิน 25 นาโนกรัม/ลิตร ในช่วงฤดูร้อน และความเข้มข้นของสารจีออสมินที่สะสมในเนื้อปลาเทร้าท์ 1-3 นาโนกรัม/กิโลกรัม จากรายงานของ Van Der Ploeg and Boyd (1991) ได้ทำการตรวจวัดปริมาณสารจีออสมินที่มหาวิทยาลัยออร์เบิร์น (Auburn) ประเทศสหรัฐอเมริกาในช่วงเดือนเมษายนถึงกันยายนทำการเก็บตัวอย่างน้ำจากบ่อที่มีการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน พบว่ามีความเข้มข้นของปริมาณสารจีออสมิน 4.77 นาโนกรัม/ลิตร

การศึกษาครั้งนี้ได้ใช้บ่อดินที่ติดตั้งคอกสัตว์บนบ่อเลี้ยงปลานิลและใช้มูลสัตว์เป็นปุ๋ยโดยตรง ด้วยเหตุดังกล่าวทำให้ระบบการผลิตปลานิลในบ่อดินมีการเจริญเติบโตของกลุ่มที่ผลิตกลิ่นโคลนโดยเฉพาะแพลงก์ตอนพืชในดิวิชัน Cyanophyta และแบคทีเรียแอคติโนมัยซีส เมื่อทำการตรวจนับจำนวน พบว่ามีปริมาณสูงในบ่อดินระบบน้ำเขียว ด้วยเหตุดังกล่าวปลานิลที่เลี้ยงในบ่อดินระบบน้ำเขียวจึงมีโอกาสเก็บกินเศษซากอาหารบริเวณดินพื้นก้นบ่อ รวมถึงการกินแพลงก์ตอนพืชกลุ่มที่ผลิตกลิ่นไม่พึงประสงค์นอกเหนือจากการได้รับอาหารสำเร็จรูปจึงส่งผลให้ปลานิลที่เลี้ยงในบ่อดินระบบน้ำเขียวมีการสะสมกลิ่นโคลนในเนื้อปลาสูงกว่าเนื้อปลาที่เลี้ยงในกระชัง นอกจากนี้สารจีออสมินและเอ็มไอบีสามารถแขวนลอยอยู่ในรูปตะกอนในน้ำจากบ่อดินสังเกตได้จากค่าความขุ่นซึ่งพบสูงมากในบ่อดินระบบน้ำเขียว อย่างไรก็ตามปริมาณสารจีออสมินที่สะสมในเนื้อปลานิลจากปลาที่เลี้ยงในกระชังนั้นอาจจะเกิดจากปลานิลรับสารจีออสมินจากการกินสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินโดยเฉพาะชนิดที่สามารถเกาะจับอยู่บนผิวอวนและพื้นกระชังซึ่ง Jüttner and Watson (2007) รายงานว่า *Oscillatoria spendida, O. brevis, O. tenuis, Lyngbya subtilis* และ *L. allogei* เป็นชนิดที่สร้างกลิ่นไม่พึงประสงค์สามารถเจริญในรูปเกาะติดตามพื้น (benthic form) และสามารถเกาะจับอยู่บนผิวอวนและพื้นกระชังได้

จากการตรวจนับปริมาณของแพลงก์ตอนพืชในดิวิชัน Cyanophyta หรือสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินชนิดที่ผลิตกลิ่นโคลน จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าชนิดของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่สร้างกลิ่นโคลนจากตัวอย่างน้ำในกระชังและบ่อดิน ได้แก่ *Oscillatoria* sp., *Anabaena* sp. และ *Pseudanabaena* sp.

นอกจากนี้ได้มีรายงานการปนเปื้อนและชนิดของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่ผลิตกลิ่นโคลน เช่น Izaguirre *et al.* (1982) รายงานไว้ว่า *Oscillatoria simlicissim* และ *Anabaena schermetievi* สามารถผลิตสารจีออสมิน จากการตรวจสอบชนิดของไซยาโนแบคทีเรียที่สร้างกลิ่นไม่พึงประสงค์ตามรายงานของ Smith *et al.*, (2008) พบว่าชนิดของไซยาโนแบคทีเรียที่สร้างกลิ่นไม่พึงประสงค์ที่ตรวจพบในบ่อดิน คือ *Anabaena circinalis* Küttz, *A. macrospore* Klebahn, *O. limosa* C. Aghardh, *O. tenuis* Gardiner, *P. catenata* Lauterborn และ *P. limnetica* (Lemmermann) ส่วน *Oscillatoria. curuiceps* และ *Oscillatoria tenuis* สามารถสร้างสารเอ็มไอบี ในทำนองเดียวกันที่ทะเลสาบคาซูมิกุระ (Kasumigura) ในประเทศญี่ปุ่นพบว่ามีชนิดของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน 5 ชนิด ที่สามารถสร้างกลิ่นโคลน ได้แก่ *Phormidium viscosum*, *Lyngbya allorgei*, *Oscillatoria splendida*, *Phormidium tenue* (Sugiura *et al.*, 2000) สอดคล้องกับ (Van Der Ploeg and Boyd, 1991) รายงานว่าสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินบางชนิดที่สังเคราะห์สารจีออสมินและเอ็มไอบี ได้แก่ *Anabaena* sp., *Aphanizomenon* sp., *Lyngbya* sp., *Oscillatoria* sp., *Planktothrix* sp., และ *Phormidium* sp. นอกจากนั้น Tsuchiya and Matsumoto (1999) ทำการศึกษาการสร้างสารจีออสมินและเอ็มไอบีที่ผลิตจากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Oscillatoria f. granulate* พบว่าเมื่อผ่านการเลี้ยง *Oscillatoria f. granulate* ในห้องปฏิบัติการเป็นระยะเวลา 40 วัน สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินชนิดนี้สามารถผลิตสารจีออสมินและเอ็มไอบี 5.9 และ 338 นาโนกรัม/ลิตร ตามลำดับ

ในปัจจุบันระดับที่ยอมรับได้ (threshold level) ของปริมาณสารจีออสมิน คือ 0.9 ไมโครกรัม/กิโลกรัม (Robertson *et al.* 2006) และปริมาณสารเอ็มไอบี คือ 0.6 ไมโครกรัม/กิโลกรัม (Persson, 1980) ซึ่งจากผลการทดลองครั้งนี้จะเห็นได้ว่าผลของระบบการผลิตมีผลต่อการสะสมปริมาณสารจีออสมินและเอ็มไอบีในเนื้อปลานิล จากการวิเคราะห์หาปริมาณสารที่ก่อให้เกิดกลิ่นโคลนในเนื้อปลานิลที่เลี้ยงในบ่อดินระบบน้ำเขียว พบว่ามีการสะสมของสารจีออสมินและเอ็มไอบีสูงกว่าระดับที่ยอมรับได้ (threshold level = 0.9 ไมโครกรัม/กิโลกรัม) ประการต่อไปก่อนทำการรวบรวมผลผลิตปลานิลสู่ตลาดผู้บริโภคจะต้องมีการตรวจสอบกลิ่นโคลนเสียก่อนเพื่อจัดการลดกลิ่นโคลนได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

สำหรับคุณภาพน้ำระหว่างการทดลองในกระชังและบ่อดิน พบว่าความเป็นกรดด่างของน้ำเฉลี่ย 7.5±0.0 และ 8.1±0.2 ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ปกติตามที่ เดชา (2543) กล่าวไว้ว่าค่า pH ระหว่าง 6.5-9.0 เป็นช่วงที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำ ส่วนค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) เฉลี่ย 4.6±0.1 และ 9.4±0.6 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งจัดว่าอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำที่ไม่ควรมีค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำต่ำกว่า 3 มิลลิกรัม/ลิตร (Swingle, 1969) ส่วนปริมาณแอมโมเนียเฉลี่ย 0.40±0.02 และ 0.63±0.10 มิลลิกรัม/ลิตร ถือว่าน้ำมีปริมาณแอมโมเนียมากทั้งนี้

เพราะอาหารปลามีเปอร์เซ็นต์โปรตีนสูง (30%) อีกทั้งปุ๋ยคอกจากสัตว์ที่สะสมในบ่อเลี้ยงปลานิลส่งผลต่อการเพิ่มปริมาณธาตุอาหารในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำจึงทำให้น้ำในบ่อมีธาตุไนโตรเจนสูง ค่าแอมโมเนียสูงเช่นกัน มั่นสินและไพพรรณ (2539) กล่าวว่าในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีการให้อาหารประเภทเนื้อสัตว์ที่มีโปรตีนสูงของเสียที่เกิดขึ้นจากการขับถ่ายของเสียจากปลาหรืออาหารที่เหลือจะทำให้มีปริมาณแอมโมเนียสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามแอมโมเนียจะไม่เป็นพิษต่อสัตว์ที่มีการให้อาหารประเภทเนื้อสัตว์ที่มีโปรตีนสูงของเสียที่เกิดขึ้นจากการขับถ่ายของเสียจากปลาหรืออาหารที่เหลือจะทำให้มีปริมาณแอมโมเนียสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามแอมโมเนียจะไม่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำเมื่อค่า pH ยังเป็นกลาง (pH=7) และสัตว์น้ำบางชนิดสามารถปรับตัวให้เคยชินกับสภาวะแอมโมเนียในน้ำสูงได้ ส่วนค่าไนไตรท์เฉลี่ย 0.12±0.00 และ 0.24±0.09 มิลลิกรัม/ลิตร

โดยบ่อเลี้ยงปลาควรมีค่าไนไตรท์ไม่เกิน 0.02 มิลลิกรัม/ลิตร หากบ่อเลี้ยงปลาอยู่ในสภาพที่ขาดออกซิเจนไนไตรท์จะสะสมในบ่อเลี้ยงมากขึ้นแต่จากค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำพบว่าอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมจึงไม่เกิดการสะสมของไนไตรท์มากนักและในสภาพที่ความเข้มข้นยังไม่ก่อให้เกิดการตาย ไนไตรท์มีผลทำให้ปลาเป็นโรคติดเชื้อได้ง่าย การเจริญเติบโตลดลง และที่ความเข้มข้นระดับสูงก่อให้เกิดการตายสำหรับปลาน้ำจืดอยู่ในช่วง 0.66-2.00 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนค่าความขุ่นเฉลี่ย 24.67±1.86 และ 215.50±47.62 NTU แสดงให้เห็นว่าในบ่อดินเลี้ยงปลานิลมีปริมาณความขุ่นในระดับสูงกว่าในกระชัง ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Bardach *et al.* (1972) กล่าวว่าถิ่นกำเนิดของปลานิลโดยธรรมชาติอยู่ที่ชายฝั่งแม่น้ำของแอฟริกาตะวันออกเฉียงใต้จึงทำให้ปลามีความอดทนต่อความขุ่นได้ดีโดยทั่วไปปลานิลมีการแพร่กระจายในบริเวณที่เต็มไปด้วยโคลน

Balarin and Haller (1982) รายงานว่า tilapia ทนต่อความขุ่นสูงกว่า 13,000 มิลลิกรัม/ลิตร แต่อย่างไรก็ตามความขุ่นจะลดการผ่านทะลุของแสงที่ส่องในบ่ออาจส่งผลกระทบต่อผลผลิตในบ่อปลาเบื้องต้น เมื่อวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ พบว่ามีค่าเฉลี่ย 401.35±21.11 และ922.08±143.74 มิลลิกรัม/ลิตร โดย ยนต์ (2539) กล่าวว่าคลอโรฟิลล์ เอ หรือปริมาณแพลงก์ตอนพืชสามารถเจริญเติบโตได้ดีหรือมีปริมาณสูงในน้ำที่มีปริมาณธาตุอาหารสูงบางชนิดไวต่อของเสียที่เป็นสารอินทรีย์และสารเคมี การมีปริมาณแพลงก์ตอนพืชในบ่อเลี้ยงจะเป็นอาหารของสัตว์น้ำทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่แต่ถ้ามีปริมาณมากเกินไปก็จะทำให้เกิดปัญหาการลดต่ำหรือขาดออกซิเจนในน้ำในช่วงกลางคืนหรือเช้ามืดเพราะแพลงก์ตอนพืชต้องใช้ออกซิเจนในการหายใจ ส่วนปริมาณออร์โธฟอสเฟตเฉลี่ย 0.15±0.01 และ 0.45±0.08 มิลลิกรัม/ลิตร โดยปริมาณออร์โธฟอสเฟตควรมีค่าระหว่าง 0.1-0.5 มิลลิกรัม/ลิตร (มั่นสิน และ ไพพรรณ, 2536) ส่วน ไมตรี และ จารุวรรณ (2538) กล่าวว่าปริมาณออร์โธฟอสเฟตในน้ำเป็นค่าที่ไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำโดยตรงแต่เป็นตัวการทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแหล่งน้ำเนื่องจากการเจริญเติบโตของพืชและสาหร่าย

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าคุณภาพน้ำระหว่างการทดลองมีปริมาณสารอาหารที่สูงซึ่งเหมาะสำหรับการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชและไม่ส่งผลกระทบต่อปลา

การทดลองที่ 2: ศึกษาผลของอายุบ่อต่อชนิดของแพลงก์ตอนพืชและแอคติโนมัยซีสที่ก่อให้เกิดกลิ่นโคลนในเนื้อปลานิลที่เลี้ยงด้วยบ่อดินระบบน้ำเขียว

ปลานิลเป็นสัตว์น้ำที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจเนื่องจากเป็นสัตว์น้ำที่มีโปรตีนสูง ราคาดี ทำให้เป็นที่นิยมบริโภคและเลี้ยงกันอย่างแพร่หลาย โดยปัจจุบันปลานิลสามารถจัดเป็นสินค้าส่งออกไปสู่ต่างประเทศในลักษณะของปลาแล่เนื้อ แต่การเลี้ยงปลานิลมักประสบปัญหาปลามีกลิ่นโคลนสะสมในเนื้อเนื่องจากการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของแพลงก์ตอนพืชและแบคทีเรียแอคติโนมัยซีสที่สร้างสารประกอบที่ก่อให้เกิดกลิ่นโคลน โดยแพลงก์ตอนพืชที่เจริญเติบโตมีทั้งชนิดที่เป็นประโยชน์และชนิดที่ให้โทษ สาเหตุหลักที่ทำให้เกิดปัญหานี้เนื่องจากปริมาณของเสียที่ปล่อยลงสู่บ่อปลามากจนเกินไป โดยของเสียที่ลงสู่บ่อปลาประกอบด้วยสารอาหาร เช่น ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในปริมาณสูง ซึ่งปัญหานี้มักพบบ่อยครั้งในช่วงฤดูร้อน เนื่องจากเป็นช่วงที่มีการถ่ายเทน้ำน้อยและเป็นการเลี้ยงปลานิลที่ใช้เวลานานประมาณ 8-12 เดือน ทำให้สัตว์น้ำมีโอกาสสะสมกลิ่นโคลนทำให้เกษตรกรผู้เลี้ยงปลาประสบปัญหาราคาขายที่ลดต่ำลง เนื่องจากการเลี้ยงปลานิลในบ่อดินที่จำเป็นต้องพิจารณาปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงในระบบนี้มากยิ่งขึ้น อายุบ่อเลี้ยงปลา ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ควรพิจารณา จึงมีแนวคิดที่จะติดตามความสัมพันธ์ระหว่างอายุบ่อต่อชนิดของแพลงก์ตอนพืช แอคติโนมัยซีส และกลิ่นโคลนในเนื้อปลานิลที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียว

กลิ่นโคลนถูกสังเคราะห์ขึ้นในวิถีเทอร์ปีน (terpene pathway) โดยสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินบางชนิดและแบคทีเรียกลุ่มแอคติโนมัยซีสสามารถสร้างกลิ่นโคลนสะสมในเนื้อปลาได้ (Klapper, 1991; Yamada *et al*., 1994) จากรายงาน พบว่าปลากดอเมริกันมีการสะสมของจีออสมินและเอ็มไอบีในเนื้อ 0.25-0.5 ไมโครกรัม/กิโลกรัม และ 0.1-0.2 ไมโครกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ (Casey *et al*., 2004) ส่วน Whangchai *et al*. (2008) รายงานว่าปลานิลแดงที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียว (โดยไม่ให้อาหารเม็ดสำเร็จรูป) มีการสะสมของจีออสมินและเอ็มไอบีในเนื้อ 4.6-41.0 ไมโครกรัม/กิโลกรัม และ 10.0-74.0 ไมโครกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้พบว่าเนื้อปลานิลมีปริมาณสารจีออสมินและเอ็มไอบีในช่วง 0.00-5.91 ไมโครกรัม/กิโลกรัม และ 0.00-12.44 ไมโครกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณสารจีออสมินและเอ็มไอบีมีค่าต่ำกว่างานวิจัยของ Whangchai *et al*. (2008) เนื่องจากการทดลองครั้งนี้เป็นการเลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียวหรือการเลี้ยงปลาที่อาศัยการสร้างอาหารธรรมชาติจากการใส่ปุ๋ยและให้อาหารเม็ดสำเร็จรูปจึงมีความเป็นไปได้ที่ผลของการให้อาหารเม็ดสำเร็จรูปทำให้ปลานิลที่เลี้ยงได้รับกลิ่นโคลนจากอาหารธรรมชาติน้อยลง

กลิ่นโคลนเกิดจากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและแอคติโนมัยซีสบางชนิด สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่สร้างกลิ่นไม่พึงประสงค์ ได้แก่ *Anabena* sp., *Oscillatoria* sp., *Lyngbya* sp., *Symploca* sp., *Microcystis* sp., *Phormidium* sp. (Tabachek and Yurkowski 1976; Lovell and Broce, 1985) ส่วนชนิดของแอคติโนมัยซีสที่สร้างจีออสมิน และเอ็มไอบี ได้แก่ *Streptomyces* sp., *Nocardia* sp., *Actinomadura* sp. และ *Actinomycete* sp. (Jüttner and Watson, 2007) จากรายงานของ Sugiura *et al.* (2000) พบว่าสาเหตุหนึ่งของการเกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์มาจากแอคติโนมัยซีส ซึ่งเป็นกลุ่มของแบคทีเรียที่มีเส้นใยคล้ายเชื้อราที่สามารถสร้างจีออสมินและเอ็มไอบี

จากการศึกษาครั้งนี้ พบว่าสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่สร้างกลิ่นไม่พึงประสงค์ 4 ชนิด ได้แก่ *Phormidium* sp. (0.00-236.67×10^3) เซลล์/มิลลิลิตร, *Oscillatoria* sp. (0.00-103.33×10^3) เซลล์/มิลลิลิตร, *Anabaena* sp. (0.00-203.33×10^3) เซลล์/มิลลิลิตร และ *Pseudanabaena* sp. (0.00-253.33×10^3) เซลล์/มิลลิลิตร ตามลำดับ และพบปริมาณเชื้อแอคติโนมัยซีสในดินพื้นบ่อเฉลี่ย 6.09±0.46×10^4 (0.25 ×10^3-20.23×10^5 เซลล์/กรัมของดินแห้ง) จากงานวิจัยที่ผ่านมา Whangchai *et al.* (2008) รายงานว่า ในปลานิลแดงที่เลี้ยงโดยไม่ให้อาหารในระบบน้ำเขียว มีการสะสมของปริมาณจีออสมินเพิ่มขึ้นตามปริมาณเชื้อแอคติโนมัยซีสในดินพื้นบ่อ

คุณภาพน้ำระหว่างการทดลอง พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ย อยู่ในช่วง 7.4-8.7 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำเฉลี่ยอยู่ในช่วง 7.41-10.22 อุณหภูมิน้ำเฉลี่ย อยู่ในช่วง 30.8-31.4 องศาเซลเซียส 25.44-28.89 Balarin and Haller (1982), Chervinski (1982), Philippart and Ruwet (1982), and Wohlfarth and Hulata (1983) รายงานว่า อุณหภูมิน้ำมีอิทธิพลต่อปลา โดยปกติปลานิลจะดำรงชีวิตได้ดีในอุณหภูมิน้ำระหว่าง 28-35 องศาเซลเซียส สำหรับความขุ่นเฉลี่ย อยู่ในช่วง 235.50-347.88 NTU Balarin and Haller (1982) รายงานว่า Tilapia ทนต่อความขุ่นสูงกว่า 13,000 มิลลิกรัม/ลิตร ทำให้ปลานิลมีความอดทนต่อความขุ่นได้ดี แต่อย่างไรก็ตามความขุ่นจะลดการผ่านทะลุของแสงจึงส่งผลกระทบต่อผลผลิตในน้ำเบื้องต้นคล้ายกับปลาตระกูล Cichlid ใน Tilapia ปริมาณแอมโมเนียเฉลี่ย อยู่ในช่วง 0.35-1.10 มิลลิกรัม/ลิตร แต่แอมโมเนียมีความเป็นพิษสูงที่อุณหภูมิสูงขึ้นในรูปแบบที่ไม่มีไอออนที่อุณหภูมิ 24-32 องศาเซลเซียส ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 ต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณแอมโมเนียทั้งหมดเป็นพิษในรูปแบบที่ไม่มีไอออนที่ pH เท่ากับ 8 ค่าประมาณ 5-9 เปอร์เซ็นต์เป็นรูปแบบที่ไม่มีไอออนที่ pH เท่ากับ 9 ระหว่าง 30 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ที่ pH 10 จาก 80-90 เปอร์เซ็นต์อยู่ในรูป NH_3 ดังนั้นความเป็นพิษของแอมโมเนียเป็นปัญหามากสำหรับในบ่อเลี้ยงที่มีบัฟเฟอร์ต่ำหรือไม่มี (ค่าความเป็นด่าง alkalinity ต่ำกว่า 30 มิลลิกรัม/ลิตร $CaCO_3$) ในช่วงเย็นเป็นไปได้ที่ระดับ pH อยู่ในระดับ 9-10 ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างโดยปริมาณไนไตรท์เฉลี่ย อยู่ในช่วง 0.06-0.14 บ่อปลาอาจพบไนไตรท์ได้สูงถึง 0.5-5

มิลลิกรัม/ลิตร (มั่นสิน และไพพรรณ, 2539) ส่วนปริมาณไนเตรทเฉลี่ย อยู่ในช่วง 0.05-0.06 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณออร์โธฟอสเฟตเฉลี่ย อยู่ในช่วง 0.07-0.23 มิลลิกรัม/ลิตร โดยปริมาณออร์โธฟอสเฟตควรมีค่าระหว่าง 0.1-0.5 มิลลิกรัม/ลิตร (มั่นสินและไพพรรณ, 2539) และปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ เฉลี่ย 460.76-778.05 ไมโครกรัม/ลิตร ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ บอกถึงมวลชีวภาพของแพลงก์ตอนพืชและบอกถึงความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำซึ่งแหล่งน้ำที่มีความอุดมสมบูรณ์มากจะพบปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ มากกว่า 14.3 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร ซึ่งปริมารคลอโรฟิลล์ เอ จะแปรผันตามสภาพแวดล้อม ปริมาณแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำนั้น (นันทนา, 2536)

จากการศึกษาครั้งนี้ ไม่พบความสัมพันธ์ของกลิ่นโคลนกับชนิดของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่สร้างกลิ่นไม่พึงประสงค์ในเนื้อปลา ไม่พบความสัมพันธ์ของปริมาณเชื้อแอคติโนมัยซีสที่อายุบ่อต่างกัน และไม่พบความสัมพันธ์ของกลิ่นไม่พึงประสงค์ที่อายุบ่อต่างกัน เป็นไปได้ที่ระบบการเลี้ยงปลาในบ่อดินที่อายุบ่อแตกต่างกันหากมีการทำความสะอาดพื้นบ่อเป็นอย่างดี ทำการถ่ายน้ำทิ้งและรักษาบ่อเลี้ยงได้เท่า ๆ กัน อายุบ่อจึงไม่มีผล

ดังนั้นการให้ปริมาณอาหารที่เหมาะสมกับปริมาณปลานิลที่เลี้ยงในบ่อจะเป็นการช่วยลดกลิ่นโคลนในเนื้อปลาแต่ไม่สามารถกำจัดให้หมดไปได้ อาจจะอาศัยการจัดการภายในบ่อเลี้ยงร่วมด้วย เช่น ควรพิจารณาอัตราส่วนในการใส่ปุ๋ยมูลสัตว์ การเปลี่ยนถ่ายน้ำภายในบ่อควบคู่กันไปก็จะทำให้สัตว์น้ำลดความเสี่ยงต่อการสะสมปริมาณสารจีออสมินและเอ็มไอบีได้

บทที่ 6
สรุปผลการวิจัย

1. ปริมาณจีออสมินและเอ็มไอบีในเนื้อปลานิลที่เลี้ยงในกระชังมีปริมาณต่ำกว่าเนื้อปลานิลที่เลี้ยงในบ่อดิน ($p \leq 0.05$) โดยปริมาณจีออสมินเนื้อในปลานิลที่เลี้ยงในในกระชังและบ่อดิน 0.66±0.11 และ 2.61±0.51 ไมโครกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ และปริมาณเอ็มไอบีในเนื้อปลานิลที่เลี้ยงในกระชังและบ่อดิน 2.45±0.50 และ 4.55±0.59 ตามลำดับ ส่วนการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำที่ใช้เลี้ยงปลานิล พบว่าทั้งจีออสมินและเอ็มไอบีของน้ำในกระชังพบน้อยกว่าน้ำจากบ่อดิน น้ำจากกระชังมีปริมาณจีออสมินและเอ็มไอบี 0.92±0.08 และ 3.10±0.15 ไมโครกรัม/ลิตร ตามลำดับ ส่วนตัวอย่างน้ำที่ใช้เลี้ยงปลานิลในบ่อดิน มีปริมาณจีออสมิน และเอ็มไอบี 24.56±7.11 และ 26.26±6.56 ไมโครกรัม/ลิตร ดังนั้นสรุปได้ว่าปลานิลที่เลี้ยงในกระชัง (ในบ่อดิน) มีคุณภาพดีกว่าเนื่องจากมีการสะสมกลิ่นโคลนในเนื้อปลานิลน้อยกว่าเนื้อปลานิลที่เลี้ยงในบ่อดินโดยตรง

2. การสะสมของกลิ่นโคลนเนื้อปลานิล พบว่ามีปริมาณจีออสมิน 1.46±0.40 (0.00-5.91) ไมโครกรัม/กิโลกรัม และปริมาณเอ็มไอบี 3.01±0.72 (0.00-12.44) ไมโครกรัม/กิโลกรัม ส่วนตัวอย่างน้ำ พบว่ามีปริมาณจีออสมิน 15.02±7.04 (0.38-292.21) ไมโครกรัม/ลิตร และปริมาณเอ็มไอบี 45.46±11.88 (1.12-399.42) ไมโครกรัม/ลิตร และตัวอย่างดินพื้นบ่อ พบว่ามีปริมาณจีออสมิน 3.68±2.30 (0.56-77.12) ไมโครกรัม/กิโลกรัม และปริมาณเอ็มไอบี 21.29±9.41 (1.15-115.89) ไมโครกรัม/กิโลกรัม ซึ่งไม่พบความสัมพันธ์ของกลิ่นโคลนที่อายุบ่อต่างกันและไม่พบความสัมพันธ์ของกลิ่นโคลนกับชนิดของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่สร้างกลิ่นโคลนในเนื้อปลานิลเช่นเดียวกัน แต่อย่างไรก็ตามจากการตรวจสอบชนิดของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่สร้างกลิ่นโคลน พบสกุล *Phormidium* sp. (0.00-236.67×10^3) เซลล์/มิลลิลิตร, *Oscillatoria* sp. (0.00-103.33×10^3) เซลล์/มิลลิลิตร, *Anabaena* sp. (0.00-203.33×10^3) เซลล์/มิลลิลิตร และ *Pseudanabaena* sp. (0.00-253.33×10^3) เซลล์/มิลลิลิตร จากการตรวจวิเคราะห์ปริมาณแอคติโนมัยซีส พบว่ามีปริมาณแอคติโนมัยซีสในดินพื้นบ่อเฉลี่ย (0.25×10^3-2.02×10^6 เซลล์/กรัมของดินแห้ง) ซึ่งไม่พบความสัมพันธ์ของปริมาณเชื้อแอคติโนมัยซีสที่อายุบ่อต่างกัน

ข้อเสนอแนะ

1. สำหรับการศึกษาผลของระบบการผลิตต่อการสะสมกลิ่นโคลนในเนื้อปลานิล ควรมีการตรวจแยกชนิดแอคติโนมัยซีสที่สามารถสร้างสารจีออสมินและเอ็มไอบีจากบ่อเลี้ยงปลานิลระบบน้ำเขียวและบ่อดินที่มีการแขวนลอยกระชังเลี้ยงปลา

2. การเลี้ยงปลานิลในกระชังและบ่อดินยังตรวจพบกลิ่นโคลนในเนื้อปลานิล ดังนั้นจึงควรหาวิธีจัดการลดกลิ่นโคลนก่อนจับปลาขาย

3. ควรมีการศึกษาทางด้านเศรษฐศาสตร์เพื่อเปรียบเทียบผลผลิตของสัตว์น้ำที่ได้จากการเลี้ยงในระบบการผลิตสัตว์น้ำ

บรรณานุกรม

กรมประมง. 2546. **การเพาะเลี้ยงปลานิล.** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.fisheries.go.th/it-network/knowledge/type%20of%20fish/typeoffish.htm (15 มกราคม 2553).

กรมประมง. 2547. **สถิติการประมงแห่งประเทศไทย พ.ศ.2545**. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 91 น.

กรมประมง. 2549. **สถิติการประมงแห่งประเทศไทย พ.ศ. 2547.** กลุ่มวิจัยและวิเคราะห์สถิติการประมง ศูนย์สารสนเทศ กรมประมง. กรุงเทพฯ. 96 น.

กรทิพย์ กันนิการ์. 2550. **การสะสมของกลิ่นโคลนในเนื้อปลานิลแดงที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียว.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 130 น.

จิตต์ เพชรเจริญ และ สมโภชน์ ทวีศรี. 2525. การเลี้ยงปลานิลร่วมกับไก่. **ข่าวกรมประมง** 4 (24): 9-11 น.

จินดาวรรณ สิรันทวิเนติ. 2550. **โครงสร้างของเซลล์และการลำเลียงสาร.** กรุงเทพฯ: ภาควิชาสัตววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 120 น.

ชลอ ลิ้มสุวรรณ. 2536. แนวทางการเลี้ยงกุ้งหน้าฝน. **วารสารอะควาฟาร์มมิ่ง** 5: 30-36.

เดชา นาวานุเคราะห์. 2543. **คุณภาพน้ำทางการประมง**. พิษณุโลก: สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตพิษณุโลก. 104 น.

นันทนา คชเสนี. 2536. **คู่มือปฏิบัติการนิเวศวิทยาน้ำจืด.** กรุงเทพ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์. 117 น.

เทพรัตน์ อึ้งเศรษฐพันธ์, สุเทพ ปั้นธิวงศ์, สมบูรณ์ ใจปินตา, ประจวบ ฉายบุ, สุดปราณี มณีศรี และรุ่งกานต์ อำไพพงศ์. 2545. **แนวทางการจัดการปัญหาการผลิตและการตลาดปลาน้ำจืดจังหวัดเชียงใหม่.** รายงานวิจัยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย PDG45N0008. 85 น.

ปกรณ์ อุ่นประเสริฐ, วิรุฬพระนอง ศรีณรงค์ และ อาภรณ์ ภู่นิยม. 2541. **การเพาะเลี้ยงปลานิล.** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.fisheries.go.th (11 ธันวาคม 2552).

พายัพ ยังปักษี. 2542. ปลานิล. **วารสารสัตว์น้ำ** 10 (1): 175-180 น.

วรพงษ์ นลินานนท์. 2545. การกำจัดกลิ่นไม่พึงประสงค์ในเนื้อปลานิล. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วรพงษ์ นลินานนท์, มยุรี จัยวัฒน์, นงนุช รักสกุลไทย และ จิราวรรณ แย้มประยูร. 2545. การกำจัดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ในเนื้อปลานิล. ใน **การสัมมาวิชาการหลังการเก็บเกี่ยวหลังการผลิตแห่งชาติ ครั้งที่ 1.** กรุงเทพฯ: โครงการพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวและสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย. 85-92 น.

มุกดา สุขสวัสดิ์. 2543. **ปุ๋ยและการใช้ปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพ.** กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์. 69 น.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์. 2539. **การจัดการคุณภาพน้ำและการบำบัดน้ำเสียในบ่อเลี้ยงปลาและสัตว์น้ำ.** กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 214 น.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์ และ ไพพรรณ พรประภา. 2536. **การจัดการคุณภาพน้ำและการบำบัดน้ำเสียในบ่อเลี้ยงปลาและสัตว์น้ำอื่น ๆ.** กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 319 น.

ไมตรี ดวงสวัสดิ์. 2530. **เกณฑ์คุณภาพน้ำเพื่อการคุ้มครองทรัพยากรสัตว์น้ำจืด.** กรุงเทพฯ : สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ กรมประมง. 38 น.

ไมตรี ดวงสวัสดิ์ และ จารุวรรณ สมศิริ. 2538. **คุณสมบัติของน้ำและวิธีวิเคราะห์สำหรับการวิจัยทางการประมง.** กรุงเทพฯ: ฝ่ายวิจัยสิ่งแวดล้อมสัตว์น้ำ สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 115 น.

ยุวดี พีรพรพิศาล และ ฉมาภรณ์ นิวาศะบุตร. 2546. **คู่มือปฏิบัติการสาหร่ายวิทยา.** พิมพ์ครั้งที่ 5. ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 112 น.

ยนต์ มุกสิก. 2539. **คุณภาพน้ำกับกำลังการผลิตของบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ.** กรุงเทพฯ: ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 180 น.

ลัดดา วงศ์รัตน์. 2539. **คู่มือการเลี้ยงแพลงก์ตอน.** กรุงเทพฯ: คณะประมง. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน. 133 น.

———————. 2542. **แพลงค์ตอนพืช.** กรุงเทพฯ: ภาควิชาชีววิทยาประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 787 น.

วิทยา ทาวงศ์. 2551. **การลดกลิ่นไม่พึงประสงค์ในปลานิลแดง (*Oreochromis* sp.) ที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียว.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 133 น.

สมโภชน์ อัคคะทวีวัฒน์. 2540. **ภาพปลาและสัตว์น้ำของไทย.** กรุงเทพฯ: องค์การค้าของคุรุสภา, 325 น.

สุปราณี วิกรัยบูรณ์. 2552. **ผลของโอโซนต่อแพลงก์ตอนพืช แอคติโนมัยซีสและกลิ่นโคลนในน้ำจากบ่อเลี้ยงปลานิล.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 116 น.

สุพรรษา ทับทิมหิน. 2552. **ผลของอัตราการให้อาหารต่อการเจริญเติบโตและกลิ่นโคลนในปลาบึกและปลานิลแดง.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 110 น.

Ackefors, H. 1986. The impact on the environment by cage farming in open water. **J. Aqua. Trop**. 1: 25-33.

Armbrester, W. 1972. The growth of caged Tikupin cturecl (Steind.) in fertile farm ponds. Proc. Annu. Conf. Southeast Assoc. **Game Fish Comm.** 25: 446-451.

Avault Jr., J.W. 1996. **Fundamentals of Aquaculture.** USA: AVA Publishing, Baton Rouge. Lousiana. 899.

Balarin, J.D. and R.D. Haller. 1982. The intensive culture of tilapia in tanks, raceways and cages. In: J.F. Muir and R.J. Roberts (Editors), Recent Advances in Aquaculture. Westview Press, Boulder, CO, USA, 265-355. Cited by William L.S. and J.P. Thomas. 2006. **Tilapia: biology.** New york: Food products press. 49.

Bardach, J.E., J.H. Ryther. and W.O. McLarney. 1972. **Aquaculture, the farming and husbandry of freshwater and marine organisms.** New York: Wiley Interscience.

Beveridge, C.M. 1984. **Cage and pen fish farming: Carrying capacity models and environmental impacts.** FAO Fisheries Technical Paper No. 255, FIRI/222, FAO of the United Nations, Rome, 131.

Bhyra, D., R. Schwarz, A.R. Grossman. 2000. Molecular responses to environmental stress. In: Whitton, B.A., Potts, E. (Eds.), The Ecology of Cyanobacteria. Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 397-442. Cited by Kirilovsky, D. 2007. Photoprotection in cyanobacteria: the orange carotenoid protein (OCP)-related non-photochemical-quenching mechanism. **Photosynth. Res.** 93: 7-16.

Boyd, C.E. 1990. **Water Quality in ponds for Aquaculture.** USA: Agriculture Experiment Station. Auburn University, Alabama.

Boyd, C.E. and C. S. Tucker. 1992. **Water quality and soil analyses for Aquaculture.** USA: Alabama agriculture experiment station, Auburn University, Alabama. 183 p.

Bruton, M.N. and R.E. Boltt. 1975. Aspects of the biology of *Tilapia mossambica* Peters (Pisces: Cichlidae) in a narural freshwater lake (Lake Sibaya, South Africa). **Journal of Fish Biology** 7: 423-445.

Cache, A.G. 1978. **The cultivation of fishes in cages.** A bibliography. FAO Fish. Circ. No. 714.

_____. 1982. **Cage culture of tilapia.** In: R.S.V. Pullin and R.H. Lowe-McConnell (Editors), The Biology and Culture of Tilapia. ICLARM, Manila, 205-246.

Casey, C. G. W.L. Steven, and V.Z. Paul. 2004. Instrumental versus sensory detection of off-flavors in farm-raised channel catfish. **Aquaculture** (236): 309-319.

Caulton, M.S. 1978. The effect of temperature and mass on routine metabolism in *Sarotherodon* (Tilapia) *mossambicus* (Peters). **Journal of Fish biology** 13: 195-201.

Caulton, M.S. and B.J. Hill. 1973. The ability of *Tilapia mossambica* (Peters) to enter deep water. **Journal of Fish Biology** 5: 783-788.

Chervinsiki, J. 1982. Environmental physiology of tilapias. Cited by R.S.V. Pullin and R.H. Lowe-McConnell (Eds.). **The biology and culture of tilapias.** ICLARM Conference Proceedings 7, Manila, Philippines. 119-128.

Cichra, M.F., S. Badylak, N. Henerderson, B.H. Reuter and E.J. Phlips. 1995. Phytoplankton community structure in the open water zone of a shallow subtropical lake (Lake Okeechobee, Florida, USA). **Arch. Hydrobiol.** 45: 157-175.

Clark, K.E., A.P.C. Gobas and D. Mackay. 1990. Model of organic chemical uptake and clearance by fish from food And water. **Environmental Science and Technology** 24: 1203-1213.

Cohen-Bazire, G. and D.A Bryant. 1982. **Phycobilisomes: composition and structure.** Cited by Carr N.G. and Whitton B.A.(Eds.). The Biology of Cyanobateria, Oxford, Blackwell Scientfic Publications.

De Silva, S. S. and T. A. Anderson. 1995. **Feeds, feeding and the environment.** Fish Nutrition in Aquaculture. Chapman & Hall. London 269-277.

Dew, T. L. 2005. **Ozone Degradation Of Off-Flavors In Catfish**. Master's thesis, University and Agricultural and Mechanical College.

Dionigi, C.P., D.F., Millie., P.B., Johnsen. 1991. Effects of farnesol and the off-flavor derivative geosmin on *Streptomyces tendae*. **Appl Environ Microbiol** 57(12): 3429-3432.

Dionigi, C.P., P.B., Johnsen and B.T. Vinyard. 2000. The recovery of flavor quality by channel catfish. **N. Am. J. Aquac** 62: 189-194.

Dionigi, C. P., T.E. Lawlor, J.E.M. Farland and P.B. Johnsen. 1993. Evaluation of geosmin and 2-methylisoborneol on the histidine dependence of TA98 and TA100 *Salmonella typhimurium* tester strain. **Water Research** 27: 1615-1618.

Dittmann, E. and C. Wiegand. 2006. Cyanobacterial toxins-occurrence, biosynthesis and impact on human affairs. **Mol. Nutr. Food Res.** 50: 7-17.

FAO. 1980. **Report of the ad hoc consultation on aquaculture research**. FAO Fish. Rep. 238, FAO, Rome, 26.

FAO. 2007. **Aquaculture only way to fill the coming "fish gap"** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.fao.org/newsroom/en/news/2007/1000701/index.html (9 ธันวาคม 2552).

Farmer, L.J., J.M. McConnell, T.D.J. Hagan and D.B. Harper. 1995. Flavor and off-flavor in wild and farmed Atlantic salmon from locations around Northern Ireland. **Water Science and Technology.** 31 (11): 259-264.

Form, J. and V. Horlyck. 1984. Site of uptake geosmin a cause of earthy-flavor in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). **Can. J. Fish. Aquat. Sci.** 41: 1224-1226.

Glaze, W.H., R. Schep and M.J. McGuire. 1990. Evaluating oxidants for the removal of model taste and odor compounds from a municipal water supply. **J. Am. Water Works Ass.** 82: 79-84.

Gobas, F.A.P.C. and D. Mackay. 1987. Dynamics of hydrophobic organic chemical bioconcentration in fish. **Environmental Toxicology and Chemistry.** 6: 495-504.

Goodwin, T.I. and E.I., Mercer. 1983. **Introduction to plant biochemistry**. Pergamon Press, Oxford, England. 677.

Grimm, C.C., S.W. Lloyd and P.V. Zimba. 2004. Instrumental versus sensory detection of off-flavors in farm-raised channel catfish. **Aquculture** 236: 30-319.

Haney, J.F. 1987. Field studies on zooplankton-cyanobacteria interactions. **N.Z. J. Mar. Freshwater.** Res. 21: 467-475.

Ho, L., F., J.P. Croue., and G. Newcombe. 2004. The effect of water quality and NOM character on the ozonation of MIB and geosmin. **Water Sci. Technol.** 49: 246-255.

Hu, B.T. 1994. Cage culture development and its role in aquaculture in China. **Aquaculture Fish. Manage.** 24: 305-310.

Izaguirre, G., C.J. Hwang, S.W. Krasner and J. Micheal. 1982. Geosmin and 2-methylisoborneol from cyanobacteria in three water supply system. **App. Envi. Micro**. 43 (3): 708-714.

Izaguirre, G., Wolfe, R.L. and Mean E.G. 1988. Bacterial degradation of 2-Methylisoborneol. **Water Science and Technology** 20: 205-210.

Job, S.V. 1969. The respiratory metabolism of *Tilapia mossambica* (Teleosei) I. The effect of size, temperature, salinity and partial pressure of oxygen. **Marine Biology (Berlin)** 2 (2): 121-126.

Johnsen, P.B. and S.W. Lloyd. 1992. Influence of fat content on uptake and depuration of the off-flavor 2-methylisoborneol by channel catfish (*Ictalurus punctatus*). Can. J. Fish. **Aquat. Sci.** 49: 2406-2411.

Johnson, P.B. and C.P. Dionigi. 1994. **Physiology approaches to the management of off-flavor in farm-raised channel catfish (*Ictalurus punctatus*).** Recent Development in Catfish Aquaculture. New York: The Haworth Press, Inc. 141-161.

Johnsen, P.B., S.W. Lloyd, B.T. Vingad and P.C. Dionigi. 1996. Effect of temperature on uptake and depuration of 2-methylisoborneol in channel catfish (*Ictalurus punctatus*). **J. World Aqua. Soc.** 27 (1): 15-20.

Josman, V. 1971. **Some aspects of the effect of temperature on the respiratory and cardiac activities of the cichlid teleost *Tilapia mossambica*.** Master 's thesis, Rhodes University, Grahamstown, South Africa.

Jüttner, F. and S. B., Watson. 2007. **Biochemical and Ecological Control of Geosmin and 2-Methylisoborneol in Source-Waters.** New York: American Society for Microbiology.

Kirilovsky, D. 2007. Photoprotection in cyanobacteria: the orange carotenoid protein (OCP)-related non-photochemical-quenching mechanism. **Photosynth. Res.** 93: 7-16.

Klapper, H. 1991. **Control of Eutrophication in Inland Waters.** New York: Ellis Horwood.

Klausen, C., N.O.G. Jorgensen, Ole. Nybroe, B.W. Strobel, J.L. Nielsen and F. Warnecke. 2004. **Occurrence of actinomycetes and geosmin in freshwater aquacultures in Denmark.** (Poster N-065).

Klausen, C., M. H. Nicolaisen, B. W. Strobel, F. Warnecke, J. L. Nielsen and N. O. G. Jorgensen. 2005. Abundance of actinobacteria and production of geosmin and 2- methylisoborneol in Danish streams and fish ponds. **Appl. Environ. Microbiol.** 52: 265-278.

Klemer, A.R., J.J. Cullen, M. Mageau, K.M. Hanson, and R.A. Sundell. 1996. Cyanobacterial buoyancy regulation: the paradoxical roles of carbon. **J. Phycol.** 32: 47-53.

Kutty, M.N. 1972. Respiratory quotient and ammonia excretion in *Tilapia mossambica.* **Marine Biology (Berlin)** 16(2): 126-133.

Lalezary, S., M. Pirbazari. and M. J. McGuire. 1986. Oxidation of 5 Earthy Musty Taste and Odor Compounds. **Journal American Water Works Association 78(3): 62-69.**

Lall, S. P. 1991. Digestibility, metabolism and excretion of dietary in fish. Cited by C. B. Cowey, A. M. Mackie and J. G. Bell (eds.). **Nutrition and Feeding in Fish.** London: Academic Press: 21-36.

Lampert, W. 1987. Laboratory studies on zooplankton-cyanobacteria interactions. **N.Z. J. Mar. Freshw. Res.** 21: 483-490.

Lee, G. F. 1973. **Role of phosphorus in eutrophication and diffuse source control.** Water Research.

Lee, R.E. 1999. **Phycology.** England: Cambridge University Press.

Lin, C.K. 1990. Integrated culture of walking cattish (*Clarias mcrcrocepharus*) and tilapia (*Oreochromis niloticus*). Cited by R. Hirano and 1. Hanyu (Editors), **The Second Asian Fisheries Forum.** Asian Fisheries Society, Manila, Philippines, 209-212.

Lin, C.K., K. Jaiyen, and V., Muthuwan. 1989. Integration of intensive and semi-intensive aquaculture: concept and example. **Thai Fish. Gaz.** 43: 425-430.

Lin, C.K., K. Kaewpaitoon. 2000. **An overview of freshwater cage culture in Thailand.** In: Lin, C.K., Liao, I.C. (Eds.), The First International Symposium on Cage Aquaculture in Asia. Asian Fisheries Society, Manila, Philippines, 237-242.

Ling, S.W., 1977. **Aquaculture in Southeast Asia.** University of Washington, Seattle, WA.

Lovell, R.T. 1976. **Flavor Problems in Fish Culture.** FAO. Technical Conference on Aquaculture Kyoto, Japan. 9.

Lovell, R.T. and D. Broce. 1985. Cause of musty flavor in pond culture penaeid shrimp. Aquaculture penaeid shrimp. **Aquaculture** 50: 169-174.

Lovell, R. T., L.A. Sackey. 1973. Absorption by channel catfish of earthy-musty flavor compounds synthesized by cultures of blue-green algae. **Transactions of the American Fisheries Society.** 102 (4): 774-777.

Lundgren, B.V. 1988. Formation and removal of off-flavor. **Wat. Sci. Technol.** 20(8): 237-244.

Magalhães, V.F., R.M. Soares. and S.M.F.O. Azevedo. 2001. Microcystin contamination in fish from the Jacarepagua Lagoon (Rio de Janeiro, Brazil): ecological implication and human health risk. **Toxicon.** 39: 1077-1085.

Martin, J.F., C.P. McCoy, W. Greenleaf and L.W. Bennett. 1987. Analysis of 2-methylisoborneol in water, mud and channel catfish (*Ictalurus punctatus*) from commercial culture ponds in Mississippi. **Can. J. Fish. Aquat. Sci.** 45: 909-912.

Martin, J.T., L.W. Bennett and W.H. Graham. 1988. Off-flavor in the channel catfish (*Ictalurus punctatus*) due to 2-methylisoborneol and its Dehydration Products. **Water Sci. Technol.** 29 (8/9): 59-65.

Martin, J.F., M.S. Plakas, H. J. Holley, J.V. Kitzman and A.M. Guaino. 1990. Pharmacokinetics and tissue disposition of the off-flavor compound 2-methylisoborneol in the channel catfish (*Ictalurus punctatus*). **Can. J. Fish. Aqua. Sci** 47: 544-547.

Martin W. B., C. G. Lutz., and M. R. Durborow., 1994. **Algae Blooms in Commercial Fish Production Ponds.** Southern Regional Aquaculture Center. 466: 4.

Matsuyasu, N., O. Takahoro, K. Yoshiyuki, I. Noriyuki, I. Taichi, A. Akiiro, S. Toshiaki, H. Euichi and S. Michio. 1995. **Inhibitory effects of odor substances, geosmin and 2-methylisoborneol, on early development of sea urchins.** Elsevier Science Ltd. PII: S0043-1354(96)00104-2.

McGinty, AS. 1991. Tilapia production in cages: effects of cage size and number of noncaged fish. Prog. **Fish-Cult.** 53: 246-249.

Mendez, C., A. F. Brana, M. B. Mamzanal, and C. Hardisson. 1985. Role of substrate mycelium in colony develoopment in Streptomyces. **Canadian Journal of Microbiology**. 31: 446-450.

Milie, D.F., M.C. Baker, C.S. Tucker, B.T. Vinyard and C.P. Dionigi. 1992. High-resolution Airborne remote sensing of bloom-forming phytoplankton. **J. of Phytocoloy.** 28: 28-290.

Mironova, N.V. 1975. Oxygen uptake by *Tilapia mossambica* (Perters). **Hydrobiologiccal Journal**. 11(2): 73-74.

_____. 1976. Changes in the energy balance of *Tilapia mossambica* in relation to temperature and ration size. **Journal of Echthyology** 16 (1): 120-129.

Mohsin, M., J. beker and J. Selamet. 1999. Cyanobacterial in the environment. Cited by Chorus I. And Bartram J. (Eds.). **Toxic cyanobacteria in water, London and New York.** E&FN Spoo. 113-153.

Mur L.R., O.M. Skulberg and H. Utikilwn. 1999. Cyanobacterial in the environment. Cited by Chorus I. And Bartram J. (Eds.). **Toxic cyanobacteria in water, London and New York.** E&FN Spoo. 113-153.

Onibala, H., T. Takayama, J. Shindo, H. Miki and S. Hayashi. 1997. Influence of freshness on occurrence of setting and disintegrating in heat-induced gels from tilapia. **Fish Sci.** 63(2): 276-280.

Pagan, F.A. 1969. **Cage culture of tilapia.** FAO Fish Cult. Bull., Z(l): 6.

Payne, A.I. 1986. **The ecology of tropical lakes and reservoirs.** England: John Wiley & Sons, Chicester. 301.

Pei, P. 2003. Methyl Isoborneol (MIB) and Geosmin Removal During Ozone-Biofiltration Treatment. Master's thesis, University of Arizona state. Cited by Pirbazari, M., B.N. Badriyha, and V. Ravindran. 1992. Microfiltration-powder activated carbon (MF-PAC) for the treatment of waters containing natural and synthetic organics. **American Water Works Association** 84(12): 95-103.

Perez, J.E. and N. Maclean. 1975. The haemoglobins of the fish *Sarotherodon mossambicus* (Peters): Functional significance and ontogenetic changes. **Journal of tish Biology** 9: 445-447.

Persson, P.E. 1980. Sensory properties and analysis of two muddy of two muddy odour compounds geosmin and 2-methylisoborneol in water and fish. **Water Research** 14: 1113-1118.

_____. 1982. **Muddy odor: a problem associated with extreme eutrophication.** Hydrobiologia 89: 161 p.

Philippart, J-Cl. and J-Cl. Ruwet. 1982. Ecology and distribution of tilapias. In R.S.V. Pullin and R.H. Lowe-McConnell (Eds.). **The biology and culture of tilapias**. Manila: Philippines: ICLARM Conferrence Proceedings 7: 15-59

Piumsombun, S. 2001. Production **accessibility and consumption patterns of aquaculture products in Thailand.** FAO Fisheries Circular No. 973

Porter, J.N. 1971. Prevalence and distribution of antibiotic-producing actinomycetes. Advances in **Applied Microbiology** 14: 73-92.

Pullin, R.S.V. and R.H. Lowe-McConnell. 1982. **The Biology and Culture of tilapia.** Proceedings of the International Conference on the Biology and Culture of Tilapias, Bellagio, Italy. International Center for Living Aquatic Resources Management, Manila, Philippines.

Raps, S., K. Wyman, H. W. Siegelman and P.g. Fulkowski. 1983. Adaptation of the Cyanobacterium *Microcystis aeruginosa* to Light Intensity. **Plant Physiol.** 72: 829-832.

Raven, J.A. 2003. Carboxysomes and peptidoglycan walls of cyanelles: possible physiological functions. **Eur. J. Phycol.** 38: 47-53.

Raymont, J.E.G. 1980. **Plankton and productivity in the oceans, 2nd ed.** England: Pergamon, Oxford. 489.

Robertson, R.F., A., Hammond, K., Jauncey, M.C.M., Beveridge and L.A. Lawtona. 2006. An investigation into the occurrence of geosmin responsible for earthy-musty taints in UK farmed rainbow trout, *Onchorhynchus mykiss*. **J. Aquaculture** 259: 153-163.

Robertson, R.F., K. Jauncey, M.c.M., Beveridge, and L.A., Lawton. 2005. Depuration rates and the sensory threshold Concentration of geosmin responsible for earthy-musty taint In rainbow trout, *Onchorhynchus mykiss*. **Aquaculture** 245: 89-99.

Rungreungwudhikrai, E. 1995. **Characterization and classification of off-flavor of Nile tilapia.** M.S. Thesis no. AE-95-24. Bangkok: Asian Institute of technology.

Saadoun, L. EL-Migdadi F. 1998. Degradation of geosmin-like compounds by selected species of Gram-positive bacteria. **Letters in Applied Microbiology** 26: 98-100.

Schreurs H. 1992. **Cyanobacterial dominance, relation to eutrophication and lake morphology.** Thesis, University of Amsterdam.

Shapiro, J. 1997. The role of carbon dioxide in the initiation and maintenance of bluegreen dominance in lakes. **Freshw. Biol.** 37: 307-323.

Shutrirung A. 2005. **Pesticide Reduction Technology "Isolation and Identificantion of endophytic actinomycestes"**. JICA Training program 26 September to 25 October 2005. Chiang Mai University: Faculty of Science. 26 .

Sijo, Y. 1975. A method for determination of chlorophyll. Jap. **J. Limnol.** 36 (3): 103-109.

Sivonen, K. 1982. Factor influencing odor production by actinomycetes. **Hydrobioloia** 86: 165-170.

Smith J. L., G. L. Boyer, and P. V. Zimba. 2008. A review of cyanobacterial odorous and bioactive metabolites: Impacts and management alternatives in aquaculture. **Aquaculture** 280: 5-20.

Soderberg, R.W. 1997. Factors affecting fish growth and production. In H.S. Egna and C.E. Boyd (Eds.), Dynamics of Pond Aquaculture. Boca Raton, FL: CRC Press. 199-213. Cited by William L.S. and J.P. Thomas. 2006. **Tilapia: biology.** New york: Food products press. 49 .

Stewart, W.D.P. 1967. Transfer of biologically fixed nitrogen in a sand dune slack region. **Nature** 14: 603-604.

Stickney, P.R., J.H. Hesby., R.B. McGeachin, and W.A. Isbell. 1979. Growth of *Tilapia niloticus* in ponds with differing histories of organic fertilization. **Aquaculture** 17: 189-194.

Stickney, R.R. 1986. Tilapia. In R.R. Stickney (Ed.), Culture of nonsalmonid freshwater fishes. Boca Raton, FL: CRC Press: 57-89. Cited by William L.S. and J.P. Thomas. 2006. **Tilapia: biology.** New york: Food products press. 49.

Sugiura, N. and K. Nakano. 2000. Causative microorganisms for musty odor occurrence in the eutrophic Lake Kasumigaura. **Hydrobiologia** 434: 145-150.

Suwanasart, P. 1972. Effects of feeding, mesh size and stocking size on the growth of *Tilapia aurea* in cages. Annu. Rep. Int. Cent. **Aquaculture, Auburn Univ.** 1971: 71-79.

Swingle, H.S. 1969. **Methods of Analysis for Water, Organic Matter and Pond Botom Soils Use in Fisheries Research.** Albama: Auburn University. 119.

Tabachek, J.L. and M. Yurkowski. 1976. Isolation and identification of blue-green algae producing muddy odor metabolites and 2-methylisoborneol in saline lake in Monitoba. **J. Fish Res. Board Can.** 33: 25-35.

Tanchotikul, U. 1990. **Studies on important volatile flavor compounds in Louisiana rangia clam (*Rangia cuneata*).** Doctoral dissertation. Louisiana state university. 96.

Tanchotikul, U. and T.C.Y. Hsieh. 1990. Methodology for quantification of geosmin and Levelin raggia clam (*Rangia cuneata*). **J. Food Sci.** 55 (5): 235-312.

Teichert-Coddington, D. and B.W. Green. 1993. Tilapia yield improvement through maintenance of minimal oxygen concentrations in experimental grow out ponds in Honduras. **Aquaculture** 118: 63-71.

Tsuchiya Y, Matsumoto A., 1999. Characterization of Oscillatoria F. Granulata producing 2 - methylisobornea and geosmin[J]. **Water Science and Technology.** 6 (2): 245 - 250.

Tucker and Roberson. 1990. **Channel Catfish Farming Handbook.** New York: Van Nortrand Reinhold. 128.

Tucker, C.S. 1996. The ecology of channel catfish culture ponds in northwest Mississippi. **Rev. Fish. Sci.** 4: 1-54.

_____ . 2000. **Off-flavor problems in aquaculture. Review in fisheries science.** 8: 45-88

Tung S.C. 2006. **Identification and Oxidation of 2-MIB and Geosmin in Source Water.** Philosophy of Doctor National Cheng Kung University. Taiwan. 146.

Uchida, R.N. and J.E. King. 1962. Tank culture of tilapia. U.S. Fish and Wildlife Service, **Fisheries Bulletin** 62: 21-52.

Van Der Ploeg, M. 1989. Seasonal trends in flavor quality of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) from commercial pond in Missisippi. **J. of Applied Aquaculture.** 2(3): 22-31.

Van Der Ploeg, M. and C.E. Boyd. 1991. Geosmin production in cyanobacteria (blue green algae) in fish pond at Auburn, Alabama: **J. of the World Aquaculture Society** 22(4): 207-216.

Vining, L.C. 1992. Secondary metabolites-inventive evolution or biochemical diversity- a review. **Gene** 115: 135-140.

Waksman, A. 1967. The **Actinomycetes : A Summary of Current Knowledge.** New York: The Ronald Press Compamy. 250.

Walsby, A.E. 1987. **Mechanisams of buoyancy regulation by planktonic cyanobacteria with gas vesicles.** InFay P. and Van Baalen C. (Eds.) The Cyanobacteria. Elsevier, Amsterdam. 377-414.

Walsby, A.E., and M.J. Booker. 1980. Changes in buoyancy of a planktonic blue-green alga in response to light intensity. **Br. Phycol. J.** 15: 311-319.

Whangchai N, K. Kannika, S. Deejing, T. Itayama, N. Iwami, T. Kuwabara, and Y. Peerapornpisal. 2008. Growth performance and accumulation of off-flavor in red tilapia, *Oreochromis niloticus* × *Oreochromis mosambicus*, cultured by green water system using chicken manure**. Asian Environmental research** 1: 8-16.

WHO 2007. **Who durveillance programme for control of foodborne infections and intoxication in Europe.** No. 57 [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.euro.who.int/ document/fos /news57e.pdf. (9 พฤศจิกายน 2552).

Wintermans, J.F.G.M. and A. de Mots. 1965. Spectrophotometric characteristics of chlorophylls a and b and their phaeophytins in ethanol. **Biochem Biophys Acta** 109: 448-453.

Wohlfarth, G.W. and G. Hulata. 1983. **Applied genetics of tilapias.** ICLARM Studies and Reviews 6, Manila, Philippines.

Yamada, N., N. Marakami, N. Kawamura and J. Sakakibara. 1994. Mechanism of an early lysis by fatty acid from axenic *Phormidium tenue* (Musty-odor producing cyanobacterium) and its growth prolongation by bacteria. **Biol. Pharm. Bull.** 17(9): 1277-1281.

Yamprayoom, J. and A. Noomhorm. 2000. Geosmin and Off-flavor in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). **J. of Aquatic product technology** 9 (2): 29-41.

Yi, Y. and C. K. Lin. 2001. Effects of biomass of caged Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and aeration on the growth and yield in an integrated cage-cum-pond system. **Aquaculture** 195: 253-267

Yi, Y., C.K. Lin, and J.S. Diana. 1996. Effects of stocking densities on growth of caged adult Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and on yield of small Nile tilapia in open water in earthen ponds. **Aquaculture** 146: 205-215.

Yurkowski, M. and J.L. Tabachek. 1974. Identification analysis and removal of geosmin from Muddy flavored trout. **J. Fish. Res Board. Can.** 31: 1851-1858.

_____ . 1980. Geosmin and 2-methylisoborneol implicated as a cause of muddy odor and flavor in commercial fish from Cedar Lake. Manitoba. **Can. J. Fish. Aquat. Sci.** 37: 1449-1450.

Yu, S. Y. 1988. **Fish noodles.** Proceedings of the Food Conference 88 Bangkok, Thailand 24-26 October 1988. 1: 121-125.

Yu, S. Y. and L. K. Tan. 1992. Enzymic solubilitzation of protein of *Oreochromis mossambicus* by alcalase. **ASEAN Food J.** 7 (3) : 157-158.

Zimba, P.V., and A.A. Gitelson. 2006. Remote estimation of chlorophyll concentration in hyper -eutrophic aquatic systems: model tuning and accuracy optimization. **Aquaculture** 256: 272-286.

Zimba, P.V., and C.C. Grimm. 2003. A synoptic survey of musty/muddy odor metabolites and toxin occurrence and concentration in southeastern USA channel catfish microcystin (*Ictalurus punctatus* Ralfinesque) production ponds. **Aquaculture** 218: 81-87.

Zimba, P.V., and C.C. Mischke. 2005. Plankton: nutrient dynamics in shrimp and catfish growout ponds. **World Aquac.** 37: 27-31.

Zimba, P.V., C.C. Grimm, and C.P. Dionigi. 2001. Phytoplankton community structure, biomass, and off flavor: pond-size relationships in Louisiana catfish ponds. **J. World Aquac.** Soc. 32: 96-104.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

การวิเคราะห์แอมโมเนีย

แอมโมเนียในแหล่งน้ำเกิดขึ้นเนื่องจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์ที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบสำคัญ เช่น โปรตีนและจากการขับถ่ายของเสียของสัตว์น้ำ แอมโมเนียในแหล่งน้ำปรากฏอยู่ 2 รูปแบบ คือ NH_3 และ NH_4 จะเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่าง (pH) และอุณหภูมิของแหล่งน้ำ แอมโมเนียในรูป NH_3 ในปริมาณที่เข้มข้นจะเกิดโทษต่อสัตว์น้ำหลายอย่าง เช่น การระคายเคืองของเหงือก การหายใจ การขับถ่ายของเสียความเป็นกรด-ด่าง ในเลือดสูง รบกวนกระบวนการบางอย่างของเอนไซม์บางตัว เป็นต้น ระดับความเป็นพิษของแอมโมเนียต่อสัตว์น้ำขึ้นอยู่กับชนิดและสภาพแวดล้อมอื่นๆ ประกอบกัน

อุปกรณ์

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

สารเคมี

1. Oxidizing solution

เตรียมสารโซเดียมโปคลอไรด์ (5%) หรือ ใช้น้ำยาฟอกสี เช่น ไฮเตอร์, คลอรอกซ์ที่มีคลอรีน ประมาณ 5 % จำนวน 10 ml. ผสมกับน้ำกลั่น 40 ml. ปรับ pH ของสารละลายให้อยู่ระหว่าง 6.5-7.0 ด้วยกรดเกลือ (HCl) สารละลายนี้ควรเตรียมใหม่ทุกอาทิตย์

2. Rochelle salt solution

ละลายสาร Rochelle salt ($KNaC_4H_4O_6.4H_2O$) จำนวน 50 กรัม ในน้ำกลั่น 100 ml. ต้ม 30 นาที ทิ้งให้เย็นแล้วเติม Manganous sulphate ($MnSO_4$) 50 มิลลิกรัม เติมน้ำกลั่นที่ปราศจากแอมโมเนียให้ได้ปริมาตรครบ 100 ml.

3. Phenate solution

ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 2.5 กรัม และ ฟีนอล (Phenol) 10 กรัม ในน้ำกลั่นที่ปราศจากแอมโมเนียให้ได้ปริมาตรครบ 100 ml. ให้เก็บไว้ในตู้เย็น (ควรเตรียมใหม่ทุกอาทิตย์)

4. Standard ammonium chloride solution

ชั่ง NH_4Cl ที่อบแห้ง 3.819 กรัม ละลายในน้ำกลั่นที่ปราศจากแอมโมเนีย ให้ได้ปริมาตร 1,000 ml. จะได้สารละลายแอมโมเนียมาตรฐานที่มีความเข้มข้น 1,000 mg/l จากนั้นดูดสารละลาย มาจำนวน 5 ml. เจือจางด้วยน้ำกลั่น 500 ml. จะได้สารละลายแอมโมเนียมาตรฐาน ที่มีความเข้มข้น 10 mg/l จากนั้นดูดสารละลาย 15 ml. เจือจางด้วยน้ำกลั่น 500 ml. จะได้สารละลายแอมโมเนียมาตรฐานที่มีความเข้มข้น 0.3 mg/l ใช้เป็น Standard ammonium chloride solution

วิธีการ

1. ดูดน้ำตัวอย่างที่ผ่านการกรองด้วยกระดาษกรอง จำนวน 10 ml. ลงใน บีกเกอร์ 50 ml.
2. ขณะที่เขย่าน้ำตัวอย่างในบีกเกอร์ให้เติมสารละลาย

Rochelle salt solution	1	หยด
Oxidizing solution	0.5	ml.
Phenate solution	0.6	ml.

3. ตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 15 นาที เพื่อให้สารละลายทำปฏิกิริยาเต็มที่
4. นำไปวัดค่าการดูดซับแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่คลื่น 630 นาโนเมตร (nm) พร้อมกับ Reagent blank โดยใช้น้ำกลั่น และเตรียม Standard solution โดยใช้ Standard Ammonium chloride (0.3 mg/l) อย่างละ 10 ml. แทนตัวอย่างน้ำและเติมสารละลายใน ข้อ 2
5. คำนวณค่าความเข้มข้นแอมโมเนียโดยเปรียบเทียบกับสารละลายแอมโมเนียมาตรฐานดังนี้ คำนวณปริมาณ Total ammonia nitrogen ด้วยสมการ

$$C1 = A1 \quad \text{หรือ} \quad C2 = \frac{C1 \times A2}{A1}$$

$$C2 = A2$$

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

C2 = ความเข้มข้นของ Total ammonia-nitrogen ใน Sample

A1 = ค่า Absorbance ของ Standard solution

A2 = ค่า Absorbance ของ Sample

การวิเคราะห์ไนไตรท์

ไนไตรท์เป็นสารประกอบไนโตรเจนรูปแบบหนึ่ง โดยเกิดกึ่งกลางระหว่างการเปลี่ยนแปลงแอมโมเนียเป็นไนเตรท (nitrification) และไนเตรทเปลี่ยนกลับเป็นแอมโมเนีย (denitrification) ถ้าน้ำมีปริมาณออกซิเจนเพียงพอไนไตรท์จะออกซิไดส์ (oxidation) ไปเป็นไนเตรทได้รวดเร็ว แต่ถ้าน้ำขาดออกซิเจนพวกจุลินทรีย์จะรีดิวซ์ (reduced) ไนเตรทไปเป็นไนไตรท์ ทำให้ ฮีโมโกลบินในเลือดปลามีประสิทธิภาพรับออกซิเจนน้อยลง ความเป็นพิษของไนไตรท์ไนโตรเจนต่อปลา และสัตว์น้ำจะแตกต่างกันไปตามชนิดของปลาและสัตว์น้ำ แต่มักเกิดในปริมาณต่ำ

อุปกรณ์

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

สารเคมี

1. Diazotizing Reagent

ชั่งสาร Sulfanilamide 5 กรัม ละลายในสารละลายกรดเกลือ โดยใช้กรดเกลือ (HCl) เข้มข้น ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ละลายในน้ำกลั่น 300 มิลลิลิตรแล้วเติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 500 มิลลิลิตร

2. Coupling Reagent

ชั่งสาร N-(1-napthyl)-ethylenediamine-dihydrochloride 0.500 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 500 ml. เก็บในขวดสีชา เตรียมสารละลายใหม่ทุกเดือนหรือเมื่อสารละลายเป็นสีน้ำตาล

3. Standard Nitrite Solution

เตรียมสารละลาย sodium nitrite ($NaNO_2$) 0.4925 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร (ได้สารละลายความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร NO_2-N) ดูดสารละลาย standard Nitrite Solution (ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร NO_2-N) จำนวน 10 มิลลิลิตร เจือจางด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร (ได้สารละลายความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร NO_2-N) ใช้สารละลาย NO_2-N ที่มีความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็น standard Nitrite Solution เจือจางสารละลาย (ตาราง 1)

ตารางภาคผนวก 1 ระดับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไนไตรท์-ไนโตรเจน

ปริมาตร NO_2-N ความเข้มข้น 1.0 mg/l. เจือจางด้วยน้ำกลั่นให้ปริมาตร 100 ml (ml)	ความเข้มข้นสารละลาย NO_2-N (mg/l)	ค่า Abs ของสารละลาย NO_2-N ที่วัดได้ (mg/l)
0.00	0.00	
1.00	0.01	
2.00	0.02	
4.00	0.04	
6.00	0.06	
8.00	0.08	
10.00	0.10	
15.00	0.15	
20.00	0.20	

ปริมาตร NO_2-N ความเข้มข้น 1.0 mg/l เจือจางด้วยน้ำกลั่นให้ปริมาตร 100 ml ต้องทำการดูดด้วย volumetric pipet ลงใน volumetric flask จากนั้นดำเนินการวิเคราะห์สารละลายโดยวิธีการวิเคราะห์ไนไตรท์แล้วสร้างกราฟมาตราฐาน (เลือกทำกราฟแบบ XY กระจาย) ซึ่งมีความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้น NO_2-N (แกน X) กับค่าการดูดซับแสง (แกนY) โดยนำเข้าสมการ regression ลงในโปรแกรม excel

วิธีการ

1. ตวงน้ำตัวอย่างที่กรองด้วยกระดาษกรอง 50 ml. ลงในบีกเกอร์ขนาด 100 ml.

2. เติมสารละลาย Diazotizing Reagent 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันทิ้งไว้ 2-4 นาที แล้วเติมสารละลาย Coupling Reagent 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันทิ้งไว้อย่างน้อย 10 นาที แต่ไม่เกิน 2 ชั่วโมง นำไปวัดค่าการดูดซับแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่คลื่น 543 นาโนเมตร (nm) พร้อมกับ Reagent blank โดยใช้น้ำกลั่น แทนตัวอย่างน้ำและเติมสารละลายใน ข้อ 2

3. คำนวณค่าความเข้มข้น nitrite nitrogen (NO_2-N) จากกราฟมาตรฐานที่ได้

4. แปลงค่าความเข้มข้น nitrite nitrogen (NO_2-N) ให้เป็น Nitrite (mg/l) โดยคูณด้วย

การวิเคราะห์ไนเตรท

ไนเตรทเป็นสารประกอบของไนโตรเจนที่พบมากที่สุดในลำธาร ทะเลสาบ ซึ่งจะพบในปริมาณมากหรือน้อยขึ้นกับลักษณะและวิธีการใช้ที่ดินในทางการเกษตร เนื่องจากไนเตรทเป็นสารประกอบที่สามารถถูกชะล้างได้ง่าย เมื่อมีการไหลผ่านของน้ำบนพื้นดิน ดังนั้นปริมาณไนเตรทจะลงสู่แหล่งน้ำมากขึ้น เมื่อมีการพังทลายของดินมาก ปริมาณของไนเตรทสามารถใช้เป็นตัวชี้ถึงระดับความสมบูรณ์ของแหล่งน้ำได้ โดยปกติจะมีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำน้อย เมื่อเทียบกับไนไตรท์และแอมโมเนีย นอกจากนี้ไนเตรทยังมีประโยชน์ต่อพืชในการดูดซึมไปใช้ในขบวนการสร้างโปรตีนอีกด้วย ในการวิเคราะห์หาปริมาณไนไตรท์ จะทำการวิเคราะห์โดยวิธีการเทียบสีกับสารประกอบมาตรฐานที่เตรียมขึ้นจากนั้นนำค่าที่ได้มาสร้างกราฟมาตราฐาน ส่วนการวิเคราะห์หาปริมาณไนเตรทต้องใช้หลักการรีดิวซ์ (reduce) ไนเตรทให้เป็นไนไตรท์ก่อนโดยการผ่านน้ำตัวอย่างลงไปในคอลัมน์ที่บรรจุแคดเมี่ยมเคลือบด้วยทองแดง จากนั้นทำการวิเคราะห์โดยวิธีการเดียวกับการหาปริมาณไนไตรท์

อุปกรณ์

1. Spectrophotometer และ Cuvette
2. กระดาษกรอง
3. อุปกรณ์เครื่องแก้ว เช่น ขวดรูปชมพู่ ปีเปต
4. หลอดคอลัมน์ (Reduction Column)

สารเคมี

1. Diazotizing Reagent

ชั่งสาร Sulfanilamide 5 กรัม ละลายในสารละลายกรดเกลือ โดยใช้กรดเกลือ (HCl) เข้มข้น ปริมาตร 50 ml. ละลายในน้ำกลั่น 300 ml. แล้วเติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 500 ml.

2. Coupling Reagent

ชั่งสาร N-(1-napthyl)-ethylenediamine-dihydrochloride 0.500 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 500 ml. เก็บในขวดสีชา เตรียมสารละลายใหม่ทุกเดือนหรือเมื่อสารละลายเป็นสีน้ำตาล

3. NH_4Cl-EDTA Solution (เข้มข้น)

ชั่งสารละลาย NH_4Cl 150 กรัมในน้ำกลั่น 500 ml.

4. NH_4Cl-EDTA Solution (เจือจาง)

ดูดสารละลาย NH_4Cl-EDTA Solution (เข้มข้น) 50 ml. เจือจางด้วยน้ำกลั่น ให้เป็น 2,000 ml. เติมสารละลาย Disodium Ethyenediamine Tetracetate จำนวน 0.3 กรัม ทำการปรับ pH ให้ได้ 7.5 (โดยเติมสารละลาย NaOH)

5. Stock Nitrate Solution (เข้มข้น)

ชั่งสารละลาย KNO_3 ที่ผ่านการอบแห้ง 0.7218 กรัม ละลายในน้ำกลั่นให้ได้ 1,000 ml.

6. Standard nitrate solution

ดูดสารละลาย Stock Nitrate Solution (เข้มข้น) ในข้อ 5 ด้วย volumetric pipette จำนวน 50 ml. ละลายในน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตรครบ 500 ml.

7. Copper sulfate 2%

ชั่งสารละลาย Copper sulfate จำนวน 20 กรัม ละลายในน้ำกลั่นให้ได้ 1,000 ml. กรดเกลือ (HCl) เข้มข้น 6 N

8. ผง Cadmium

วิธีการวิเคราะห์

1. การเตรียมแคดเมียม (Cadmium)

นำผงแคดเมียม 25 กรัม แช่ในกรด HCl (กรดเกลือ) เข้มข้น 6 N กวนด้วยแท่งแก้วจนสะอาด (ประมาณ 5 นาที) เทกรดทิ้ง และล้างด้วยน้ำกลั่นหลาย ๆ ครั้งจนหมดกลิ่นกรด จากนั้นนำสารละลาย Copper sulfate 2% ประมาณ 200 ml. เทลงไป กวนด้วยแท่งแก้วนานประมาณ 5 นาที หรือจนกระทั่งสีน้ำเงินจางหายไป สะเด็ดสารละลายให้แห้ง แล้วเติม Copper sulfate 2% ของใหม่ลงไป กวนด้วยแท่งแก้วเหมือนเดิม ทำตามขั้นตอนหลาย ๆ ครั้ง จนเกิดผลึกสีน้ำตาลเกิดขึ้น จากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่นจนกระทั่งไม่มีผลึกสีน้ำตาลติดอยู่

2. การเตรียมคอลัมน์แคดเมียม (Cadmium column)

เติมน้ำกลั่นลงในคอลัมน์เปล่า จากนั้นตักแคดเมียมที่เตรียมไว้ลงในคอลัมน์ให้ได้ความสูงประมาณ 18.5 เซนติเมตร รักษาระดับน้ำให้ท่วมแคดเมียม ทำการล้างแคดเมียม โดยใช้สารละลาย NH_4Cl-EDTA Solution (เจือจาง) จำนวน 200 ml. ผ่านคอลัมน์ลงอย่างช้า ๆ และให้เตรียมสารละลาย Standard Nitrate Solution จำนวน 100 ml. กับสารละลาย NH_4Cl-EDTA Solution (เข้มข้น) 2 ml. จากนั้นเทสารละลายลงในคอลัมน์ให้ไหลในอัตรา 7-10 มิลลิลิตร/นาที

3. การเตรียมน้ำตัวอย่างและการผ่านน้ำลงในคอลัมน์

ดูดน้ำตัวอย่างที่ผ่านการกรองด้วยกระดาษกรอง จำนวน 100 ml. ผสมกับสารละลาย NH_4Cl-EDTA Solution (เข้มข้น) จำนวน 2 ml. จากนั้นเทลงในคอลัมน์ ปล่อยให้ไหลผ่านในอัตรา 7-10 ml./นาที (ใช้เวลาประมาณ 10-15 นาที) ทิ้งน้ำ 25 ml. แรกทิ้ง และเก็บปริมาตรที่เหลือไว้

4. การสร้างสี และการวัดค่า Abs (การวิเคราะห์ค่าไนเตรท)

ดูดสารละลายหลังจากผ่านคอลัมน์ จำนวน 50 ml.โดยผ่านคอลัมน์ต้องไม่เกิน 15 นาที จากนั้นเติมสารละลาย Diazotizing Reagent จำนวน 1 ml. เขย่าให้เข้ากันทิ้งไว้ 2-4 นาที แล้วเติมสารละลาย Coupling Reagent จำนวน 1 ml. เขย่าให้เข้ากันทิ้งไว้อย่างน้อย 10 นาที แต่ไม่เกิน 2 ชั่วโมง จากนั้นนำไปวัดค่าดูดซับแสง (Abs) ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่คลื่น 543 นาโนเมตร (nm)

5. การหา Recovery factor

5.1 โดยการดูดสารละลาย Standard Nitrate Solution (0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร) จำนวน 100 ml. มาผสมกับสารละลาย NH_4Cl-EDTA Solution (เจือจาง) จำนวน 2 ml. จากนั้นเทลงในคอลัมน์ ปล่อยให้ไหลผ่านในอัตรา 7-10 ml.ต่อนาที ทิ้งน้ำ 25 มิลลิลิตรแรก และเก็บปริมาตรที่เหลือไว้

5.2 ดูดสารละลายที่เก็บไว้ 50 มิลลิลิตร เติมสารละลาย Diazotizing Reagent จำนวน 1 ml. เขย่าให้เข้ากันทิ้งไว้ 2-4 นาที แล้วเติมสารละลาย Coupling Reagent จำนวน 1 มิลลิลิตรเขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้อย่างน้อย 10 นาที แต่ไม่เกิน 2 ชั่วโมง ไปวัดค่าการดูดซับแสง (Abs) ด้วยด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่คลื่น 543 นาโนเมตร (nm)

5.3 หาค่า F (Recovery factor) = $\frac{\text{0.1 ml/l ของ Nitrite nitrogen} \times 100}{\text{ความเข้มข้นของ Nitrite nitrogen ที่หา}}$

6. คำนวณหาค่าความเข้มข้น Nitrate nitrogen ดังนี้

Nitrate nitrogen (mg/l) = $\{(A-B) \times F\} /100$

โดยที่ A = ความเข้มข้นของไนไตรท์ ที่ผ่าน Column

B = ความเข้มข้นของไนไตรท์ ที่ไม่ผ่าน Column

F = Recovery factory

7. ทำการแปลงค่า Nitrate nitrogen ให้เป็น Nitrate (มิลลิกรัมต่อลิตร) โดยคูณด้วย

การวิเคราะห์ออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส

ออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส เป็นธาตุอาหารที่สำคัญอย่างหนึ่งต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ โดยปกติแหล่งน้ำตามธรรมชาติจะพบธาตุนี้ในปริมาณน้อย ซึ่งนับเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อผลผลิตทางชีวภาพ ปัจจัยความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำในแง่ของธาตุอาหารธรรมชาติ ฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำพบได้หลายรูปแบบ ทั้งในรูปของสารละลายและสารแขวนลอยในรูปของสารอนินทรีย์และสารอินทรีย์ แต่ในที่สุดทุกรูปแบบจะสลายตัวไปอยู่ในรูปของออร์โธฟอสเฟตซึ่งเป็นรูปแบบของฟอสฟอรัส ที่ใช้ในการวิเคราะห์หาโดยตรง ส่วนรูปแบบอื่น ๆ ต้องทำการย่อยให้สลายตัวอยู่ในรูปของออร์โธฟอสเฟตก่อนทำการวิเคราะห์

วิธีแบบ Stannous Chloride

อุปกรณ์

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

สารเคมี

1. Ammonia Molybdate Solution

เตรียมสารละลาย Ammonia Molybdate $(NH_4)_6MO_7.4H_2O$ จำนวน 5 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 35 ml. นำสารละลายดังกล่าว เติมลงในสารละลายกรด H_2SO_4 (ละลายกรด H_2SO_4 56 ml. ลงในน้ำกลั่น 80 ml.) แล้วเติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตรครบ 200 ml.

2. Stannous Chloride Solution

เตรียมสารละลาย Stannous chloride ($SnCl_2.2H_2O$) จำนวน 2.5 กรัมละลายในน้ำ Glycerol ในปริมาตร 100 ml. โดยใช้อ่างน้ำร้อน (water bath) ในการทำละลาย

3. Standard Phosphate Solution

เตรียมสารละลาย KH_2PO_4 จำนวน 0.2195 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 1,000 ml. (ได้สารละลายเข้มข้น 50 mg/l PO_4-P) ดูดสารละลาย Standard Phosphate Solution ที่ได้มา จำนวน 50 ml. เจือจางด้วยน้ำกลั่นให้ปริมาตรครบ 500 มิลลิลิตร (ได้สารละลายเข้มข้น 5 mg/l PO_4-P) เพื่อใช้ในการเตรียมกราฟมาตรฐาน (ตาราง 2)

ตารางภาคผนวก 2 การเตรียมสารละลาย Standard Phosphate Solution ที่ความเข้มข้น 5 mg/l PO_4-P ทำการเจือจางตามลำดับ

ปริมาตร PO_4-P ความเข้มข้น 5.0 mg/l เจือจางด้วยน้ำกลั่นให้ปริมาตร 100 ml (ml)	ความเข้มข้นสารละลาย PO_4-P (mg/l)	ค่า Abs ของสารละลาย PO_4-P ที่วัดได้ (mg/l)
0.00	0.00	
0.50	0.025	
1.00	0.050	
2.00	0.100	
5.00	0.250	
10.00	0.500	
15.00	0.750	

ปริมาตร PO_4-P ความเข้มข้น 5.0 mg/l เจือจางด้วยน้ำกลั่นให้ปริมาตร 100 ml. ต้องทำการดูดด้วย Volumetric pipe ลงใน Volumetric flask จากนั้นดำเนินการวิเคราะห์สารละลายโดยวิธีการวิเคราะห์ฟอสฟอรัส แล้วสร้างกราฟมาตรฐาน (เลือกทำกราฟแบบ XY กระจาย) ซึ่งมีความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้น PO_4-P (แกน X) กับค่าการดูดซับแสง (แกน Y) โดยนำเข้าสมการ Regression ลงในโปรแกรม Excel

วิธีการ

1. ดูดน้ำตัวอย่างที่ผ่านการกรองด้วยกระดาษกรอง 25 ml. ลงในบีกเกอร์ขนาด 100 ml.
2. เติมสารละลาย Ammonia molybdate solution จำนวน 1 ml. เขย่าให้เข้ากัน และเติมสารละลาย Stannous Chloride Solution 5 หยด เขย่าให้เข้ากันทิ้งไว้ 10 นาที แต่ไม่เกิน 12 นาที
3. นำไปวัดค่าการดูดซับแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่คลื่น 690 นาโนเมตร พร้อมกับ Reagent blank โดยใช้น้ำกลั่น แทนตัวอย่างน้ำและเติมสารละลายใน ข้อ 2
4. คำนวณค่าความเข้มข้นฟอสฟอรัส (Phosphorus) จากกราฟมาตรฐาน
5. ทำการแปลงค่า PO_4-P ให้เป็น PO_4 (mg/l) โดยคูณด้วย 3.06

การวิเคราะห์ความเป็นด่าง

ความเป็นด่างของน้ำ หมายถึง ความสามารถรับโปรตอนหรือไฮโดรเจนอิออนของน้ำหรือความสามารถในการทำปฏิกิริยากับกรด ความเป็นด่างในน้ำธรรมชาติโดยทั่วไปเกิดจากไบคาร์บอเนต (HCO_3) เป็นส่วนใหญ่ อาจมีคาร์บอเนต (CO_3) และไฮดรอกไซด์ (OH^-) ในบางสภาวะ โดยเฉพาะเมื่อ pH ของน้ำมีค่าสูงขึ้น นอกจากนี้อาจมีพวกบอเรต (Borates) ซิลิเกต (Silicates) และฟอสเฟต (Phosphates) ปนอยู่บ้างแต่ปริมาณน้อย คุณสมบัติที่สำคัญของความเป็นด่างต่อแหล่งน้ำเป็นตัวการที่ช่วยควบคุมไม่ให้แหล่งน้ำมีการเปลี่ยนแปลงค่า pH รวดเร็วเกินไป แหล่งน้ำที่มีค่าความเป็นด่างสูงก็เหมือนกันมีความสามารถในการต้านการเปลี่ยนแปลง pH สูง เกณฑ์ที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำควรมีค่าความเป็นด่างใกล้เคียง 100 mg/l การปรับค่าความเป็นด่างของน้ำให้สูงโดยการใส่ปูนขาว (Liming) แหล่งน้ำที่มีค่า pH ต่ำกว่า 4.5 จะไม่พบค่าความเป็นด่างหรือมีความกระด้างเท่ากับศูนย์

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์การไตเตรต
2. อุปกรณ์เครื่องแก้วได้แก่ ขวดรูปชมพู่ บีเกอร์ ปิเปต

สารเคมี

1. Phenolphthalein indicator

ชั่งสาร Phnolphthanlein จำนวน 0.5 กรัม ละลายในเอทิลแอลกอฮอล์ (95%) จำนวน 50 ml. เติมน้ำกลั่นอีกเพื่อให้ได้ปริมาตรครบ 100 ml.

2. Methyl orange indicator

ชั่งสาร Methyl orange จำนวน 0.5 กรัม ละลายในน้ำกลั่นให้ปริมาตรครบ 100 ml

3. โซเดียมคาร์บอเนตมาตรฐาน 0.200 N

เตรียมละลายโซเดียมคาร์บอเนต 1.0600 กรัม ที่แห้งสนิทอบที่อุณหภูมิ 200 C นาน 30 นาที หรือ 130 C นาน 90 นาที ในน้ำกลั่นที่ปราศจากคาร์บอนไดออกไซด์ โดยการต้มน้ำกลั่นให้เดือดนาน 10-15 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วเติมให้ได้ปริมาตร 1,000 ml. (เตรียมก่อนใช้ 2-3 ชั่วโมง)

4. H_2SO_4 (ความเข้มข้น 0.02 N)

เตรียมสารละลาย H_2SO_4 (เข้มข้น) จำนวน 2.8 ml. ละลายในน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 1,000 ml. (ได้ความเข้มข้น 0.1 N) จากนั้นเจือจาง H_2SO_4 ความเข้มข้น 0.1 N จำนวน 200 ml. ในน้ำ

กลั่นที่ปราศจาก CO_2 ให้ครบปริมาตร 1,000 ml. จะได้ H_2SO_4 ความเข้มข้น 0.02 N ความเข้มข้น 0.02 N เป็นค่าประมาณก่อนให้วิเคราะห์จะต้องตรวจวัดค่าที่แน่นอนกับโซเดียมคาร์บอเนตมาตรฐาน 0.200 N โดยดูดโซเดียมคาร์บอเนต 0.02 N จำนวน 10 ml. ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ml. เติมน้ำกลั่น 90 ml. หยด Methyl orange indicator ประมาณ 4-8 หยด แล้วทำการไตเตรตด้วย H_2SO_4 ความเข้มข้น 0.02 N จนสารละลายเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีส้มคำนวณหาค่านอร์มอล (N) ที่แน่นอนจาก

$$\text{สูตร ความเข้มข้นของ } H_2SO_4 \text{ (N)} = \frac{0.02 \times 10}{\text{ปริมาตร } H_2SO_4 \text{ ที่ใช้ (ml.)}}$$

วิธีการ

1. ตวงน้ำตัวอย่าง 100 ml. ด้วยกระบอกตวง เทลงขวดรูปชมพูด ขนาด 250 ml.
2. หยด Phenolphthalein indicator จำนวน 2 หยด เขย่าให้เข้ากัน
   - ถ้าสารละลายใส (แสดงว่าไม่มีสารประกอบคาร์บอเนต) ทำข้อ 3 ต่อได้เลย
   - ถ้าสารละลายมีสีชมพูให้ไตเตรทด้วย H_2SO_4 จนสารละลายมีสีใสปกติ (จดปริมาตร H_2SO_4 มาตรฐาน 0.02 N ที่ใช้)
3. หยด Mehtyl orange indicator จำนวน 4-8 หยด เขย่าให้เข้ากันนำมาไตเตรตด้วย H_2SO_4 จนสารละลายเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีส้ม (จดปริมาตร H_2SO_4 ที่ใช้)
4. คำนวณหา Total Alkalinity (mg/l) $= \frac{\text{(ml.ของกรด) (N ของกรด) (50) (1000)}}{\text{(ml. ของน้ำตัวอย่าง)}}$
5. รายงานผลการปฏิบัติงาน

การวิเคราะห์คลอโรฟิลล์ เอ

การวัดความอุดมสมบูรณ์ของระบบนิเวศแหล่งน้ำ ทำได้โดยการวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และมวลชีวภาพของสาหร่าย (algae biomass) มีปัจจัยสำคัญที่ควบคุมการสร้างคือสารอาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งฟอสฟอรัส โดยปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของแพลงก์ตอนพืชเป็นดัชนีบ่งบอกถึงผลผลิตเบื้องต้น (primary productivity) ของแหล่งน้ำ ซึ่งปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ จะขึ้นกับปริมาณแอมโมเนีย ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ฯลฯ

อุปกรณ์

1. เครื่องกรองตัวอย่างพร้อมอุปกรณ์
2. เครื่องหมุนเหวี่ยง (centrifuge)
3. Spectrophotometer และ Cuvette
4. อุปกรณ์เครื่องแก้ว

สารเคมี

1. Methanol 90%

ตวงน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตรใส่ใน volumetric flask แล้วเติม methanol ลงไปปรับปริมาตรให้ครบ 1,000 มิลลิลิตร ควรเก็บไว้ในขวดสีชา

วิธีการ

1. กรองน้ำตัวอย่างประมาณ 50-100 มิลลิลิตร(ขึ้นอยู่กับความเข้มของคลอโรฟิลล์ เอ โดยสังเกตจากสีของน้ำ) ด้วยเครื่องกรองน้ำ (vacuum pump) โดยใช้กระดาษกรองแบบ GF/C หรือแบบ Membrane

2. ใส่ Methanol 90% ในหลอดประมาณ 10 มิลลิลิตร จากนั้นนำกระดาษที่กรองในข้อ 1. ใส่ลงไปในหลอดที่เตรียมไว้ ห่อด้วยกระดาษฟอยด์นำไปต้มในน้ำที่มีอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 20 นาที

3. จากนั้นนำออกมาปั่นด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงโดยใช้ความเร็ว 3000 รอบ/นาที เป็นเวลา 10 นาที เพื่อให้สารละลายตกตะกอน นำสารที่ตกตะกอนแล้วไป ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องก่อนระมัดระวังอย่าให้หลอดกระทบกระเทือน

4. นำสารไปวัดค่าการดูดซับกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ช่วงคลื่น 750, 665, 645 และ 630 นาโนเมตร

5. การคำนวณ

คลอโรฟิลล์ เอ ($\mu g/l$) = $(11.6\ D_{665} - 1.31\ D_{645} - 0.14\ D_{630}) \times F$

F = (ปริมาณรวมของสารที่สกัด (ml)/ปริมาณน้ำตัวอย่าง (L) × 1/ความกว้าง Cuvette (cm)

D_{665} = ค่าดูดซับแสงที่ช่วงคลื่น 665 nm - ค่าดูดซับแสงที่ช่วงคลื่น 750 nm

D_{645} = ค่าดูดซับแสงที่ช่วงคลื่น 645 nm - ค่าดูดซับแสงที่ช่วงคลื่น 750 nm

D_{635} = ค่าดูดซับแสงที่ช่วงคลื่น 630 nm - ค่าดูดซับแสงที่ช่วงคลื่น 750 nm

ภาคผนวก ข
การแยกเชื้อแอคติโนมัยซีสในดิน

การแยกเชื้อแอคติโนมัยซีสในดิน

อุปกรณ์

1. ตัวอย่างดิน
2. อาหารเลี้ยงเชื้อสำหรับแยกเชื้อแอคติโนมัยซีส ได้แก่ IMA-2 medium
3. ตู้บ่มเชื้ออุณหภูมิ

การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ IMA-2 medium (Shutrirung, 2005)

D-glucose	5.0	gm
Starch (Soluble)	5.0	gm
Beef extract	1.0	gm
Yeast extract	1.0	gm
Nz-case	2.0	gm
$CaCo_3$	1.0	gm
Agar	15.0	gm
Deionized water	1,000	ml

นำส่วนผสมทั้งหมดละลายให้เข้ากันแล้วจึงนำไปฆ่าเชื้อ (Autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที รอจนอุณหภูมิเย็นลงประมาณ 40 องศาเซลเซียส เติม Antibiotics ลงไป

การเติม Antibiotics

1. Trimethoprim 20 มิลลิกรัม ละลายใน 2 มิลลิลิตร Dimethyl sulfoxide-DSMO ต่อลิตรของอาหารเลี้ยงเชื้อ

2. กรด Naldixic 10 มิลลิกรัม ละลายใน 1 มิลลิลิตร 0.1 N ของ โซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ผ่านการกรองและฆ่าเชื้อก่อนนำมาใช้

3. Heritage 10 มิลลิลิตรต่อลิตรของอาหารเลี้ยงเชื้อ โดยละลาย Heritage 1 gm ในน้ำกลั่น 29 มิลลิลิตร

วิธีการแยกเชื้อแอคติโนมัยซีส

1. แบ่งตัวอย่างดินใส่ในจานอาหารเลี้ยงเชื้อที่ฆ่าเชื้อแล้ว ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 สัปดาห์เพื่อให้ตัวอย่างแห้ง

2. ชั่งดิน 10 กรัม ทำการเจือจางในน้ำกลั่นฆ่าเชื้อ 90 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน เป็นระดับเจือจางที่ 10^{-1}

3. ปิเปตตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร ทำการเจือจางในน้ำกลั่นฆ่าเชื้อ 9 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน เป็นระดับเจือจางที่ 10^{-2}

4. ปิเปตตัวอย่างต่อจนถึงระดับความเจือจางที่ 10^{-6}

5. ปิเปตตัวอย่าง 0.1 มิลลิลิตร จากระดับความเจือจางที่ 10^{-3}, 10^{-4}, 10^{-5} และ 10^{-6} มา spread บนจานอาหารเลี้ยงเชื้อ IMA-2 ที่เตรียมไว้

6. บ่มไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 7 วัน ตรวจดูการเจริญเติบโตของเชื้อ

7. นับจำนวนโคโลนีของเชื้อแอคติโนมัยซีส คำนวณปริมาณเชื้อแอคติโนมัยซีส

สูตร เซลล์/กรัมดินชื้น = จำนวนเซลล์/0.1 $\times 10^{\text{dilution factor}}$

เซลล์/กรัมดินแห้ง = จำนวนเซลล์/0.1 $\times 10^{\text{dilution factor}}$ /น.น. ของดินแห้ง

การหาสมบัติทางกายภาพบางประการของตัวอย่าง

1. การหาน้ำหนักดิน

เทสารแขวนลอยของดินของความเจือจางที่ 10^{-1} ที่เหลืออยู่ลงในบีกเกอร์ที่ทราบน้ำหนัก นำบีกเกอร์ไปอบในตู้อบอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนน้ำระเหยหมดและน้ำหนักคงที่ ชั่งน้ำหนักของบีกเกอร์อีกครั้ง คำนวณหาน้ำหนักของดินที่ใช้ในการแยกเชื้อจากผลต่างของน้ำหนักบีกเกอร์ก่อนและหลังอบ

2. การหาปริมาณความชื้น

ชั่งตัวอย่างดินประมาณ 1-2 กรัม ใส่ในถ้วยเซรามิคหรือบีกเกอร์ที่ทราบน้ำหนัก นำบีกเกอร์ไปอบในตู้อบอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสจนน้ำหนักคงที่ คำนวณหาปริมาณความชื้นในดินตัวอย่างจากน้ำหนักดินที่หายไป

3. การวัดค่าความเป็นกรดด่าง

ชั่งตัวอย่างดิน 2 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร ค่อยเติมน้ำกลั่นไปทีละน้อย โดยคนตัวอย่างไปด้วยในขณะเดียวกันด้วยช้อนตักสารหรือแท่งแก้ว จนสังเกตเห็นแผ่นฟิล์มบาง ๆ บนผิวจึงทำการวัดค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ทำซ้ำ 3 ครั้ง รายงานผลในรูปค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้ง 3 ครั้ง

ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารจีออสมินและเอ็มไอบี

การวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารจีออสมินและเอ็มไอบีด้วยแก๊สโครมาโทรกราฟี (Gas chromatography mass spectrometry)

สารเคมี

1. เมทธานอล (Methanol)
2. สารละลายจีออสมิน (Geosmin, trans-1, 10-Dimethyl-trans-decalin-ol ของ Sigma)
3. สารละลายเอ็มไอบี (MIB : 2- methylisoborneol ของ Sigma)

การเตรียมตัวอย่าง

ดิน น้ำ และเนื้อปลา

ทำการเตรียมตัวอย่างดิน น้ำ และเนื้อปลา เก็บไว้ในขวดเก็บตัวอย่างขนาด 100 มิลลิลิตร เก็บไว้ที่อุณหภูมิ ต่ำกว่า 4 องศาเซลเซียส รอการวิเคราะห์ หรือทำการวิเคราะห์ทันที สำหรับตัวอย่างน้ำใช้ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ตัวอย่างดินใช้ 5 กรัม ผสมกับน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ส่วนตัวอย่างเนื้อปลาทำการบดละเอียด ชั่งเนื้อปลา 5 กรัม เติมเมทธานอล 10 มิลลิลิตร ใส่ในขวดตัวอย่างขนาด 100 มิลลิลิตร ทุกตัวอย่างทำการเติมโซเดียมคลอไรด์ 1.9 กรัม และใส่ magnetic bar ปิดฝาด้วยจุกยางทนความร้อนสูง และฝาอะลูมิเนียม

การเตรียม Calibration curve

ทำการเตรียมสารมาตรฐานจีออสมินและเอ็มไอบี 10 ไมโครลิตร จากขวดที่มีความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมในเมทานอล 1 มิลลิลิตร ละลายด้วยเมทานอลปรับปริมาตรให้ครบ 10 มิลลิลิตร (โดยสารละลายที่ได้นี้มีความเข้มข้นของสารจีออสมินและเอ็มไอบี 2 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) เพื่อใช้เป็น Stock solution หลังจากนั้นน้ำมาเจือจางให้อยู่ในระดับความเข้มข้นที่สามารถพบในตัวอย่าง โดยมีความเข้มข้น 20, 40, 60, 80 และ 100 ไมโครกรัมต่อลิตร จากนั้นนำไปฉีดโดยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟีเช่นเดียวกับตัวอย่าง

วิธีการวิเคราะห์สารจีออสมินและเอ็มไอบีด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

ให้ความร้อนกับขวดตัวอย่างที่บรรจุตัวอย่าง โดยวางขวดตัวอย่างบนเครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้าและถาดให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 65-70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นแทงเข็มไฟเบอร์ที่ประกอบเข้ากับอุปกรณ์ SPME (solid phase microextraction) เข้าไปในขวดตัวอย่าง

เป็นเวลา 12 นาที เพื่อให้ไฟเบอร์ทำการจับกับสารประกอบจีออสมินและเอ็มไอบีในตัวอย่าง นำชุดอุปกรณ์ SPME ไปวิเคราะห์เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี รุ่น Agilent Technologies 6890 N Network GC System เข้าไปตรงตำแหน่งที่ฉีดสารของเครื่องโดยใช้ Splitless mode ผ่านแคปปิลาลีคอลัมน์ (DB-DURABOND) HP-5 (30 m.×0.32 mm. 0.25 µm. film thickness) ใช้แก๊สฮีเลียมเป็นตัวพา ด้วยอัตรา 2.5 มิลลิลิตรต่อนาที อุณหภูมิของเตาอบ (oven temperature) ตั้งโปรแกรมอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นเพิ่มเป็น 220 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราเร็ว 15 องศาเซลเซียสต่อนาที และคงอุณหภูมิไว้ที่ 220 องศาเซลเซียส นาน 8 นาที

ภาคผนวก ง
ประวัติผู้วิจัย

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล นางสาวชยารัตน์ ปลื้มสำราญ

Miss Chayarat Pleumsumran

เกิดเมื่อ วันที่ 11 ธันวาคม พ.ศ. 2527

ที่อยู่ 4/451 หมู่ 4 ถนนโกสุมรวมใจ แขวงสีกัน เขตดอนเมือง กรุงเทพฯ 10210

อีเมลล์ Lunatic_pink@hotmail.com

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2546 วท.บ. (การจัดการประมง) บัณฑิตประมง (รุ่นที่ 13) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ตรัง

2553-ปัจจุบัน วท.ม. (เทคโนโลยีการประมง) มหาบัณฑิตประมงรุ่นที่ 4 มหาบัณฑิตแม่โจ้ เชียงใหม่ รุ่นที่ 72

ผลงานตีพิมพ์

ศิรประภา ฟ้ากระจ่าง ชยารัตน์ ปลื้มสำราญ เอกพงษ์ แอบแฝง กิตติชัย จันทร์ลภ สุปราณี วิกรัยบูรณ์ และ นิวุฒิ หวังชัย. ผลของผักบุ้ง (*Ipomoea aquatica* Forsk.) ต่อการควบคุมการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Microcystis aeruginosa*. ในบ่อเลี้ยงปลาที่มีปริมาณสารอาหารสูง. 2552. ใน งานประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ครั้งที่ 1. ระหว่างวันที่ 18-19 กุมภาพันธ์ 2552. เชียงราย: มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย. 83-91 น.

ชยารัตน์ ปลื้มสำราญ นิวุฒิ หวังชัย ศิรประภา ฟ้ากระจ่าง สุปราณี วิกรัยบูรณ์ และ ดรุณี สิมธาราแก้ว. 2553. การสะสมกลิ่นไม่พึงประสงค์ (จีออสมินและเอ็มไอบี) ในปลานิล (*Oreochromis niloticus*) ที่เลี้ยงต่างกัน 2 ระบบ. ใน การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 16. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยแม่โจ้. ระหว่างวันที่ 11-12 มีนาคม 2553. 56-57 น.

นิวุฒิ หวังชัย ชยารัตน์ ปลื้มสำราญ ศิรประภา ฟ้ากระจ่าง Norio Iwami และ Tomoaki Itayama. 2553. การสะสมกลิ่นไม่พึงประสงค์ในปลานิล (*Oreochromis niloticus*) ที่เลี้ยงในกระชังและในบ่อดิน. ใน วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยแม่โจ้.