สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การนำตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์จากมันสำปะหลังมาใช้ผลิตอาหารเลี้ยงปลานิล

T040044

นางสาวลลิดา อภิสมาจาร

นางสาวสิริพร อัศวเสถียร

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2543

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....40044
วัน, เดือน, ปี.....24 ก.ค. 2544

.b.....
.i.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Utilization of Sludge from Tapioca Industry Wastewater Treatment System for Fish Feed Production

Miss Lalida Apisamajan

Miss Siriporn Aussawasathien

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for The Degree of Bachelor of Science

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การนำตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์จากมันสำปะหลังมาใช้ผลิตอาหารเลี้ยงปลานิล
นักศึกษา	นางสาวลลิดา อภิสมาจาร
	นางสาวสิริพร อัศวเสถียร
ภาควิชา	เคมี สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. ชมพูนุท ไชยรักษ์
	อาจารย์จตุพร บัณฑิต

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... หัวหน้าภาควิชาเคมี
(ผศ.ดร. สมศักดิ์ วรมงคลชัย)

คณะกรรมการตรวจสอบโครงงานพิเศษ

..... ประธานกรรมการ
(อาจารย์นงนุช เลาหะวิสุทธิ์)

..... กรรมการ
(อาจารย์พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย)

..... กรรมการ
(ดร. ชมพูนุท ไชยรักษ์)

..... กรรมการ
(อาจารย์จตุพร บัณฑิต)

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การนำตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์จากมันสำปะหลังมาใช้ผลิตอาหารเลี้ยงปลานิล
นักศึกษา	นางสาวลลิดา อภิสมาจาร 40057025
	นางสาวสิริพร อัศวเสถียร 40057037
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. ชมพูนุท ไชยรักษ์ และอาจารย์จตุพร บัณฑิต
ภาควิชา	เคมี สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2543

บทคัดย่อ

การศึกษาทดลองผลของการใช้ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์จากมันสำปะหลังมาเป็นส่วนผสมของอาหาร ต่อการเจริญเติบโตและอัตรารอดของปลานิล (*Oreochromis niliticus)* จากการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการและคุณสมบัติของตะกอนพบว่ามีโปรตีน ไขมัน เถ้า ความชื้น คาร์โบไฮเดรต อินทรีย์วัตถุ พีเอช และโลหะหนักบางตัวที่ปลาสามารถใช้เป็นธาตุอาหารได้ (Mn Fe Zn) และธาตุที่เป็นอันตรายต่อปลา (Pb Cd Ni) ซึ่งมีเป็นปริมาณน้อย จึงนำตะกอนมาใช้เป็นส่วนผสมร่วมกับปลาป่น ข้าวโพด กากถั่วเหลือง แป้งมันสำปะหลัง วิตามินผสม (Premix) และ DCP โดยในส่วนของปลาป่น ข้าวโพด กากถั่วเหลือง และแป้งมันสำปะหลัง จะทำการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการเช่นเดียวกับตะกอน จากนั้นทำการคำนวณปริมาณวัตถุดิบที่ใช้โดยให้มีตะกอนเป็นส่วนผสมอยู่ 0 5 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ หลังจากนั้นนำอาหารที่ได้แต่ละสูตรไปวิเคราะห์สารอาหารอีกครั้งเพื่อความถูกต้อง ในการเลี้ยงปลามีการวางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Complete Randomized Design) จำนวน 12 บ่อ บ่อละ 40 ตัว ความหนาแน่น 30 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร โดยทำการเลี้ยงเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ระหว่างนั้นทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำ อันได้แก่ อุณหภูมิ พีเอช DO SRP แอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท และสภาพความเป็นด่าง (Total Alkalinity) และเปลี่ยนถ่ายน้ำทุกสัปดาห์ ตลอดจนชั่งน้ำหนักและวัดความยาวของปลาทุก 2 สัปดาห์ และทำการสังเกตและบันทึกอัตรารอดตายทุกวัน พร้อมทั้งวิเคราะห์โลหะหนักในตัวปลาก่อนและหลังเลี้ยงเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ในตะกอน พบว่าการใช้อาหารทั้ง 4 สูตรในการเลี้ยงปลาให้ผลการเติบโตและอัตราการรอดที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) และปริมาณโลหะหนักที่ตรวจวัดได้พบว่ามีปริมาณที่ไม่พบว่าเป็นอันตรายต่อปลาและผู้บริโภค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Utilization of Sludge from Tapioca Industry Wastewater Treatment System for Fish Feed Production
Name	Miss Lalida Apisamajan Miss Siriporn Aussawasathien
Special Project Advisor	Dr. Chompunut Chaiyaraksa and Miss Jatuporn Bundit
Department	Chemistry Major of Environmental Resource Chemistry
Year	2000

Abstract

This experiment was concluded to evaluate the effect of using activated sludge as supplementary feed on growth performance of sex reversal Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus).* The sludge have crude protein , crude lipids , ash , moisture , NFE , organic matter and heavy metal (some type is nutrient and some type is toxic but it have a few). Then sludge of 0% , 5% , 10% and 20% mixed with fish meal , corn meal , soyabean , vitamin premix and dicalciumphosphate (DCP). The approximate analysis of all material used was done before formulation feed and formulated meal feed then bring it to be analyzed again to confirm that it was suitable for fish. This experiment use 12 concrete tank (1.54 m^3) for 40 fishes in each tank. The culture period was totally 8 weeks (27 Jan – 24 March). Filling up of water in tank was done weekly checking and analyzing water quality with 8 parameters ; Temperature , pH , DO , SRP , ammonia , nitrite , nitrate and total alkalinity. The measurement of length , weight and survival rate of fish in every 2 weeks. Fish muscle of every treatment were analyzed heavy metal (Pb , Cd , Ni , Fe , Mn , Zn) in beginning and the final. The result showed that there were no any different in term of growth ($P>0.05$) , in term of heavy metal deposition have a few.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ชมพูนุท ไชยรักษ์ ที่กรุณาเป็นที่ปรึกษาและให้คำแนะนำตลอดการดำเนินโครงงานพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์จตุพร บัณฑิต ที่กรุณาเป็นที่ปรึกษาพิเศษ

ขอขอบพระคุณอาจารย์พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย และ ดร. นงนุช เลาหะวิสุทธิ์ ที่กรุณามาเป็นคณะกรรมการตรวจสอบโครงงานพิเศษและช่วยแก้ไขข้อผิดพลาด ทำให้รายงานมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ในภาควิชาเคมีทุกท่านที่อบรมสั่งสอนตลอดระยะเวลา 4 ปี ตลอดจนเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือด้วยดีทางด้านอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการดำเนินงาน

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และขอบคุณรุ่นพี่ และเพื่อนๆ ในภาควิชาเคมีทุกท่าน ที่คอยให้กำลังใจ ช่วยเหลือ และสนับสนุน ในทุกๆ ด้านด้วยดีตลอดมา

นางสาวลลิดา อภิสมาจาร

นางสาวสิริพร อัศวเสถียร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงงานพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	4
2.1 มันสำปะหลัง	4
2.2 ขบวนการผลิตของบริษัทสำปะหลังพัฒนาจำกัด	4
2.3 ระบบบำบัดน้ำเสียของบริษัทสำปะหลังพัฒนาจำกัด	6
2.4 ตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสีย	6
2.5 การนำตะกอนมาใช้ประโยชน์	7
2.6 ปลานิล	9
2.7 อาหารเลี้ยงปลา	13
2.8 คุณภาพของน้ำในบ่อปลา	23
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	38
3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง	38
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	38
3.3 การดำเนินการทดลอง	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ 42

4.1 การวิเคราะห์ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย 42

4.2 การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการและการเตรียมอาหาร 43

4.3 การทดลองเลี้ยงปลาโดยใช้อาหารทั้ง 4 สูตร 46

4.4 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลา 53

4.5 การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักก่อนและหลังเลี้ยง 60

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 62

5.1 การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย 62

5.2 การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของวัตถุดิบ 62

5.3 การทดลองเลี้ยงปลาโดยใช้อาหารทั้ง 4 สูตร 62

5.4 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลา 63

5.5 การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในตัวปลา 63

ข้อเสนอแนะ 63

เอกสารอ้างอิง 64

ภาคผนวก ก วิธีวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของวัตถุดิบในการทำอาหาร คุณภาพน้ำ และโลหะหนัก 66

ภาคผนวก ข รูปแสดงวิธีดำเนินการและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 91

ภาคผนวก ค การคำนวณคุณค่าปริมาณอาหารเมื่อทราบปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ ผลการชั่งวัดปลาและการเจริญเติบโตของปลา 100

ภาคผนวก ง ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ 115

ภาคผนวก จ ผลการวิเคราะห์โลหะหนักในเนื้อปลา 125

ภาคผนวก ฉ การวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ 128

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1.1	แสดงการเจริญเติบโตของปลานิล	12
ตารางที่ 2.2	แสดงค่าเฉลี่ยของความต้องการกรดอะมิโนของสัตว์น้ำทั่วไป	15
ตารางที่ 2.3	แสดงความต้องการโปรตีนเพื่อการเจริญเติบโตของปลาขนาดต่าง ๆ	16
ตารางที่ 2.4	แสดงหน้าที่หลักของวิตามินชนิดต่าง ๆ ในอาหารสัตว์น้ำ	20
ตารางที่ 2.5	แสดงปริมาณวิตามินชนิดต่าง ๆ ที่แนะนำให้ใส่ในอาหารสัตว์น้ำ	21
ตารางที่ 2.6	แสดงหน้าที่หลักของแร่ธาตุชนิดต่าง ๆ ที่สัตว์น้ำต้องการ	22
ตารางที่ 2.7	แสดงปริมาณสารอาหารที่สัตว์น้ำต้องการ	23
ตารางที่ 3.1	แสดงวิธีวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของตะกอน	39
ตารางที่ 3.2	แสดงวิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำ	41
ตารางที่ 4.1	แสดงผลการวิเคราะห์ตะกอน	42
ตารางที่ 4.2	แสดงคุณค่าทางโภชนาการของตะกอนและวัตถุดิบในการผลิตอาหารเลี้ยงปลา	43
ตารางที่ 4.3	แสดงอัตราส่วนของวัตถุดิบที่ใช้ในอาหารทั้ง 4 สูตร	44
ตารางที่ 4.4	แสดงคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร 4 สูตรที่ได้จากการคำนวณ	45
ตารางที่ 4.5	แสดงผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของอาหาร 4 สูตร	45
ตารางที่ 4.6	แสดงน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นต่อวัน (DWG) ของปลานิลหนึ่งตัวในแต่ละช่วงการเลี้ยง	46
ตารางที่ 4.7	แสดงน้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ยของปลานิลหนึ่งตัวในแต่ละช่วงการเลี้ยง	48
ตารางที่ 4.8	แสดงอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) ในแต่ละช่วงการเลี้ยง	50
ตารางที่ 4.9	แสดงอัตราการรอดตายของปลานิลในแต่ละช่วงการเลี้ยง	52
ตารางที่ 4.10	แสดงการสรุปผลคุณภาพน้ำที่เลี้ยงปลานิล	54
ตารางที่ 4.11	แสดงปริมาณโลหะหนักในเนื้อปลาก่อนและหลังเลี้ยง	61
ตารางที่ ก.1	แสดงร้อยละของอันอิออไนซ์แอมโมเนียในสารละลายที่มีอุณหภูมิและค่าพีเอชต่างกัน	81
ตารางที่ ค.1	แสดงช่วงเวลาในการชั่งวัดปลาในแต่ละครั้ง	100
ตารางที่ ค.2	แสดงการสุ่มชั่งวัดปลาครั้งที่ 1	101
ตารางที่ ค.3	แสดงการสุ่มชั่งวัดปลาครั้งที่ 2	102
ตารางที่ ค.4	แสดงการสุ่มชั่งวัดปลาครั้งที่ 3	103
ตารางที่ ค.5	แสดงการสุ่มชั่งวัดปลาครั้งที่ 4	104

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

ตารางที่ ค.6 แสดงน้ำหนักของปลาในการชั่งวัดแต่ละครั้ง 105
ตารางที่ ค.7 แสดงน้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้นในการชั่งวัดแต่ละครั้ง 106
ตารางที่ ค.8 แสดงปริมาณอาหารที่ใช้เลี้ยงปลา 107
ตารางที่ ค.9 แสดงน้ำหนักของปลาที่เพิ่มขึ้นต่อวัน (DWG) 108
ตารางที่ ค.10 แสดงอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) 109
ตารางที่ ค.11 แสดงอัตราการรอด (Survival Rate) 110
ตารางที่ ง.1 แสดงค่ามาตรฐานทางเคมีของน้ำที่มีผลต่อสุขภาพปลา ที่ถูกนำมาเลี้ยงไว้ในน้ำเย็นและน้ำอุ่น 111
ตารางที่ ง.2 แสดงช่วงเวลาที่วิเคราะห์น้ำและการเปลี่ยนถ่ายน้ำในแต่ละครั้ง 112
ตารางที่ ง.3 แสดงอุณหภูมิของน้ำในบ่อเลี้ยงปลา 113
ตารางที่ ง.4 แสดงค่าพีเอชของน้ำในบ่อเลี้ยงปลา 114
ตารางที่ ง.5 แสดง DO ของน้ำในบ่อเลี้ยงปลา 115
ตารางที่ ง.6 แสดงปริมาณ SRP ของน้ำในบ่อเลี้ยงปลา 116
ตารางที่ ง.7 แสดงปริมาณแอมโมเนีย (NH_3-N) ของน้ำในบ่อเลี้ยงปลา 117
ตารางที่ ง.8 แสดงปริมาณไนไตรท์ (NO_2- N) ของน้ำในบ่อเลี้ยงปลา 118
ตารางที่ ง.9 แสดงปริมาณไนเตรท (NO_3- N) ของน้ำในบ่อเลี้ยงปลา 119
ตารางที่ ง.10 แสดงปริมาณ Alkalinity ของน้ำในบ่อเลี้ยงปลา 120
ตารางที่ จ.1 แสดงปริมาณโลหะหนักในเนื้อปลาก่อนเลี้ยง 121
ตารางที่ จ.1 แสดงปริมาณโลหะหนักในเนื้อปลาหลังการเลี้ยง 122
ตารางที่ ฉ.1 แสดงการวิเคราะห์ทางสถิติของน้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้นต่อวัน (DWG) 123
ตารางที่ ฉ.2 แสดงการวิเคราะห์ทางสถิติของอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) 123
ตารางที่ ฉ.3 แสดงการวิเคราะห์ทางสถิติของอัตราการรอดตายของปลา (Survival Rate) 124
ตารางที่ ฉ.4 แสดงการวิเคราะห์ทางสถิติของ Ni ที่ตรวจพบในตัวปลา 124
ตารางที่ ฉ.5 แสดงการวิเคราะห์ทางสถิติของ Fe ที่ตรวจพบในตัวปลา 125
ตารางที่ ฉ.6 แสดงการวิเคราะห์ทางสถิติของ Zn ที่ตรวจพบในตัวปลา 125

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 4.1	แสดงน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นต่อวันของปลานิลหนึ่งตัวในแต่ละช่วงการเลี้ยง	47
รูปที่ 4.2	แสดงน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นต่อวัน (DWG) ของปลานิลหนึ่งตัวเฉลี่ยตลอดการเลี้ยงในอาหารแต่ละสูตร	48
รูปที่ 4.3	แสดงน้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ยของปลานิลหนึ่งตัวในแต่ละช่วงการเลี้ยง	49
รูปที่ 4.4	แสดงอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อในแต่ละช่วงการเลี้ยง	50
รูปที่ 4.5	แสดงอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อเฉลี่ยตลอดการเลี้ยงในแต่ละสูตรอาหาร	51
รูปที่ 4.6	แสดงอัตราการรอดตายของปลานิลในแต่ละช่วงการเลี้ยง	52
รูปที่ 4.7	แสดงอุณหภูมิของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาตลอดระยะเวลาการเลี้ยง	55
รูปที่ 4.8	แสดงพีเอชของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาตลอดระยะเวลาการเลี้ยง	55
รูปที่ 4.9	แสดงปริมาณ DO ของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาตลอดระยะเวลาการเลี้ยง	56
รูปที่ 4.10	แสดงปริมาณ SRP ของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาตลอดระยะเวลาการเลี้ยง	57
รูปที่ 4.11	แสดงปริมาณแอมโมเนียของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาตลอดระยะเวลาการเลี้ยง	58
รูปที่ 4.12	แสดงปริมาณไนไตรท์ของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาตลอดระยะเวลาการเลี้ยง	59
รูปที่ 4.13	แสดงปริมาณไนเตรทของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาตลอดระยะเวลาการเลี้ยง	59
รูปที่ 4.14	แสดงปริมาณ Alkalinity ของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาตลอดระยะเวลาการเลี้ยง	60
รูปที่ ข.1	แสดงการตากตะกอน	90
รูปที่ ข.2	แสดงขั้นตอนการย่อยในการวิเคราะห์หาโปรตีน	90
รูปที่ ข.3	แสดงการกลั่นหาโปรตีน	91
รูปที่ ข.4	แสดงการหาไขมันด้วยซอกฮ์เลต	91
รูปที่ ข.5	แสดงเครื่องกวนอาหาร	92
รูปที่ ข.6	แสดงการผสมอาหาร	92
รูปที่ ข.7	แสดงการอัดเม็ดอาหารปลา	93
รูปที่ ข.8	แสดงการตากอาหารในที่ร่ม	93
รูปที่ ข.9	แสดงบ่อคอนกรีตที่ใช้เลี้ยงปลา	94
รูปที่ ข.10	แสดงวิธีการให้อาหารปลา	94
รูปที่ ข.11	แสดงการชั่งหาน้ำหนักของปลา	95
รูปที่ ข.12	แสดงวิธีการวัดความยาวปลา	95
รูปที่ ข.13	แสดงกาหาปริมาณ SRP	96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

รูปที่ ข.14 แสดงการหาปริมาณแอมโมเนีย 96
รูปที่ ข.15 แสดงการหาปริมาณไนไตรท์ 97
รูปที่ ข.16 แสดงการหาปริมาณไนเตรท 97
รูปที่ ข.17 แสดงการหาปริมาณ Alkalinity 98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงงานพิเศษ

ในปัจจุบันมีโรงงานอุตสาหกรรมเกิดขึ้นเป็นจำนวนมากซึ่งอุตสาหกรรมแต่ละประเภทก็จะให้ของเสียที่แตกต่างกันไป วิธีการกำจัดของเสียย่อมไม่เหมือนกัน บางชนิดกำจัดได้ง่าย บางชนิดกำจัดได้ยาก บางชนิดก็สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ สำหรับของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้ผลผลิตทางการเกษตรเป็นวัตถุดิบ เช่น โรงงานผลิตผลิตภัณฑ์จากมันสำปะหลังนั้น ของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตยังพอมีคุณค่าทางโภชนาการอยู่บ้าง หากนำของเสียที่เกิดขึ้นไปใช้เป็นส่วนผสมในอาหารสำหรับเลี้ยงสัตว์บางประเภทที่มีลักษณะเลี้ยงง่าย กินอาหารง่ายก็จะเป็นการลดต้นทุนค่าอาหารสัตว์ได้ ซึ่งอาหารสัตว์มีราคาแพง ทำให้ผู้เลี้ยงสัตว์ต้องประสบความลำบากในการเลี้ยงสัตว์ให้มีกำไรดี การเลี้ยงสัตว์ให้ได้กำไรมีหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้อง อาหารสัตว์เป็นปัจจัยที่สำคัญประการหนึ่งซึ่งผู้เลี้ยงสัตว์อาจลดต้นทุนการผลิตลงได้

ในภูมิประเทศเขตร้อน มันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญอันดับ 3 รองจากข้าวและข้าวโพด จึงมีการปลูกมันสำปะหลังเพื่อป้อนเข้าสู่โรงงานอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมาก เมื่อโรงงานทำการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ อาทิเช่น แป้ง มันเส้น มันอัดเม็ด และผงชูรสแล้ว ย่อมต้องเกิดของเสียเป็นปริมาณมากเช่นกัน ซึ่งของเสียที่เกิดขึ้นนี้แทบจะไม่มีค่าเลย ดังนั้นถ้าเรานำของเสียนี้กลับมาใช้ประโยชน์ทางด้านการแปรรูปเป็นอาหารเลี้ยงสัตว์ ก็จะเป็นการช่วยลดต้นทุนในการกำจัดของเสียใน โรงงานช่วยเกษตรกรลดต้นทุนด้านค่าใช้จ่ายในการจัดซื้ออาหารเลี้ยงสัตว์ นอกจากนี้ยังช่วยลดมลพิษจากของเสียและรักษาสภาพแวดล้อมได้

ในการทดลองนี้เลือกที่จะทำการทดลองเลี้ยงปลานิล เนื่องจากปลานิลเป็นปลาน้ำจืดที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ เลี้ยงง่าย โตเร็ว กินอาหารได้หลายประเภทและเป็นที่นิยมเลี้ยงกันอย่างแพร่หลาย ถึงแม้ว่าในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์จากมันสำปะหลังจะไม่มีขั้นตอนที่ใช้สารเคมีที่รุนแรงและเป็นอันตราย แต่ของเสียที่เกิดขึ้นอาจได้รับการปนเปื้อนโลหะหนักในขั้นตอนการผลิตและขั้นตอนการบำบัดน้ำได้ ซึ่งหากนำมาเลี้ยงสัตว์ สัตว์ก็จะได้รับโลหะหนักและเมื่อมนุษย์นำมาบริโภคก็จะเกิดการถ่ายทอดโลหะหนักมาตามห่วงโซ่อาหาร ย่อมมีผลทำให้เกิดการสะสมในร่างกายของมนุษย์และเป็นอันตรายได้ ดังนั้นการทดลองนี้จึงให้ความสำคัญต่อการวิเคราะห์โลหะหนักด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

1. ทดสอบคุณค่าทางโภชนาการของตะกอน
2. ศึกษาหาปริมาณโลหะหนักชนิดต่างๆ ในตะกอน
3. ศึกษาการนำตะกอนมาใช้เป็นส่วนผสมในอาหารเลี้ยงปลานิลและหาปริมาณตะกอนที่เหมาะสมเพื่อใช้เป็นสูตรอาหารที่ทำให้ปลานิลมีอัตราการเจริญเติบโตสูงที่สุด

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. ทดสอบคุณค่าทางโภชนาการของตะกอน อันได้แก่ โปรตีน (Crude protein) ไขมัน (Crude Lipids) เถ้า (Ash) ความชื้น (Moisture) คาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ (NFE) พีเอช (pH) และหาปริมาณอินทรีย์วัตถุ (Organic matter) โดยหาเป็นร้อยละของส่วนประกอบทั้งหมด
2. ศึกษาหาปริมาณโลหะหนักชนิดต่างๆ ในตะกอน ได้แก่ ตะกั่ว (Pb) แคดเมียม (Cd) นิกเกิล (Ni) เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) และสังกะสี (Zn)
3. ทดสอบคุณค่าทางโภชนาการของปลาป่น กากถั่วเหลือง ข้าวโพด และแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งเป็นวัตถุดิบในการทำอาหารเลี้ยงปลา โดยทำการวิเคราะห์โปรตีน (Crude protein) ไขมัน (Crude Lipids) ไฟเบอร์ (Crude Fiber) เถ้า (Ash) ความชื้น (Moisture) และคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ (NFE)
4. ศึกษาอัตราส่วนของตะกอนที่จะนำมาใช้เป็นส่วนผสมของอาหารเลี้ยงปลานิลและทำให้ปลานิลมีอัตราการเจริญเติบโตสูงที่สุด โดยจะแบ่งเป็น 4 สูตรอาหาร แต่ละสูตรมีอัตราส่วนของตะกอนเป็น 0 5 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ เมื่อทำอาหารเม็ดแล้วจะนำมาวิเคราะห์หาคุณค่าทางโภชนาการอีกครั้ง
5. ทำการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาทุกสัปดาห์ อันได้แก่ อุณหภูมิ พีเอช (pH) ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) ฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้ (SRP) แอมโมเนีย (NH_3-N) ไนไตรท์ (NO_2-N) ไนเตรท (NO_3-N) และความเป็นด่างของน้ำ (Alkalinity)
6. ทำการชั่งน้ำหนัก วัดความยาวและสังเกตอัตราการรอดของปลาทุก 2 สัปดาห์
7. วิเคราะห์โลหะหนักในตัวปลาก่อนและหลังเลี้ยง อันได้แก่ ตะกั่ว (Pb) แคดเมียม (Cd) นิกเกิล (Ni) เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) และสังกะสี (Zn)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นการนำตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์จากมันสำปะหลังมาเพิ่มคุณค่าโดยใช้ประโยชน์ในการเลี้ยงปลานิลได้
2. เป็นการลดต้นทุนในการผลิตอาหารเลี้ยงปลา
3. เพื่อลดปริมาณของเสียที่จะระบายสู่สิ่งแวดล้อมเป็นการตอบสนองนโยบายของรัฐบาล
4. เพื่อเป็นแนวทางในการดัดแปลงของเสียนี้ไปใช้เป็นอาหารในการเลี้ยงสัตว์ชนิดอื่นต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 มันสำปะหลัง

มันสำปะหลังเป็นพืชที่ทนต่อความแห้งแล้งได้ดีมาก สามารถขึ้นได้ดีในดินทุกประเภท ไม่ว่าจะเป็นดินเหนียวจัดหรือดินทรายจัด อีกทั้งมันสำปะหลังยังเป็นพืชที่ปลูกง่าย มีศัตรูรบกวนน้อย ไม่จำกัดเวลาปลูกและเวลาเก็บเกี่ยวไม่มากนัก ให้ผลผลิตสูงเมื่อเทียบกับพืชเศรษฐกิจชนิดอื่นๆ และราคาของผลผลิตก็ยังจัดอยู่ในเกณฑ์ดี มันสำปะหลังสามารถแปรรูปไปเป็นมันสำปะหลังอัดเม็ด (หรือมันสำปะหลังแท่ง) มันสำปะหลังแห้ง (หรือมันสำปะหลังเส้น) มันสำปะหลังป่น กากมันสำปะหลัง และแป้งมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังจัดอยู่ตระกูล *Euphorbiaceae* และจัดอยู่ในสกุล *Manihot* ส่วนมากเป็นพืชยืนต้นขนาดเล็ก มียาง ใบมีแฉกลึก เป็นพืชที่มีดอกตัวผู้และดอกตัวเมียอยู่ในช่อดอกเดียวกัน มันสำปะหลังมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *M. escutenta* และชื่อสามัญคือ cassava , yuca manioc , mandioca , madioc หรือ tapioca มันสำปะหลังมีแหล่งกำเนิด 2 แหล่ง คือ แถบประเทศแมกซิโกและกัวเตมาลา ซึ่งมันสำปะหลังมีทั้งชนิดหวานและขม แต่ที่เข้ามาในไทยรุ่นแรกๆ เป็นชนิดหวาน

ประโยชน์ของมันสำปะหลัง

ส่วนของต้นของมันสำปะหลังที่นำไปใช้ทำประโยชน์ได้ เช่น ลำต้น ใบ และราก

1. ลำต้นที่ตัดก่อนการขุดหัวมันสำปะหลังจะนำมาทำเป็นท่อนพันธุ์ใช้ปลูกครั้งต่อไป
2. ลำต้นส่วนยอดที่ยังอ่อนอยู่อาจนำมาตากแห้ง ใช้ทำเป็นอาหารเลี้ยงสัตว์ได้
3. ใบมันสำปะหลังนำมาทำเป็นอาหารเลี้ยงสัตว์ในรูปของใบดัด หมัก ใบตากแห้งป่น
4. หัวมันสำปะหลัง (รากสะสม)นำไปประกอบอาหาร ส่วนมากจะเข้าโรงงานอุตสาหกรรมทำมันเส้น โรงงานอุตสาหกรรมทำมันป่น โรงงานมันอัดเม็ดหรือมันแท่ง โรงงานทำแป้งมัน

2.2 ขบวนการผลิตของบริษัทสำปะหลังพัฒนา จำกัด

การโม่มันสำปะหลัง

รถขนมันสำปะหลังจะมาส่งมันที่ลานและจะมีสายพานเคลื่อนย้ายมันสำปะหลังไปเพื่อทำการปอกมัน จากนั้นจะทำการล้างมันสำปะหลัง และจะเข้าสู่ระบบการโม่มันสำปะหลัง ซึ่งใน 1 วันจะมีการโม่มันสำปะหลังประมาณ 2,500 คิว ซึ่งจะได้แป้งประมาณ 400 ตันของมันสด

ขั้นตอนการโม่มันสำปะหลังเกิดของเสียดังนี้ คือ

1. เปลือกที่เกิดจากการปอกมัน
2. น้ำเสียที่เกิดจากการล้างมันสำปะหลังจะส่งไปยังระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การ Modified Starch

จากการโม่มันสำปะหลังจะได้แป้งที่มีความข้นพอสมควรซึ่งข้นประมาณ 20-22 โบลเม่ จะเข้าสู่การ modified starch ดังนี้

1. ถังปฏิกรณ์

น้ำแป้งที่ข้นจะเข้าสู่ถังปฏิกรณ์มีการอุ่นน้ำแป้งโดยใช้ Heat Exchanger จากนั้นมีการเติมสารเคมีและกำหนดระยะเวลาที่ให้น้ำแป้งอยู่ในถังปฏิกรณ์เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาที่สมบูรณ์ โดยระยะเวลาที่ใช้นั้น ขึ้นกับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการซึ่งอาจจะเป็น 4 , 5 หรือ 20 ชั่วโมง และเมื่อเกิดปฏิกิริยาที่สมบูรณ์แล้วจะหยุดการ Operate ในขั้นตอนนี้จะมีการสุ่มตัวอย่างไปตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ว่าตรงตามต้องการหรือไม่ จากนั้นจะปั๊มไปยังถังพัก

2. ถังพัก

เมื่อปั๊มน้ำแป้งเข้าสู่ถังพัก น้ำแป้งจะถูกนำไปกรองล้างเอากากอ่อนหรือสารเคมีที่สกปรกออก และมีการทำให้น้ำแป้งข้นมากขึ้น น้ำที่ได้จะมีหางน้ำแป้งและจะนำไปกรอง

ขั้นตอนนี้เกิดของเสีย คือ

1. กากอ่อนที่ได้จากการกรองถูกปั๊มไปอัด ส่วนกากส่งไปอัดเม็ดใช้ทำอาหารสัตว์
2. น้ำเสียจากการล้างกากอ่อน สารเคมีที่สกปรกและหางน้ำแป้งจะเข้าสู่ระบบบำบัดแบบเติมอากาศ

3. hydrocyclone

จะมีการทำให้น้ำแป้งข้นขึ้นอีกครั้ง ซึ่งน้ำที่เกิดขึ้นจะเข้าสู่ระบบบำบัดแบบเติมอากาศ ส่วนน้ำแป้งที่ข้นและสะอาดจะถูกปั๊มไปยัง feed tank

4. feed tank

เมื่อน้ำแป้งเข้าสู่ feed tank และมีการป้อนเข้าไปทำการ centrifuge ทำให้แป้งที่หนักจะตกลงและแป้งที่เบากว่าจะถูกดักไว้ แป้งที่ได้จะผ่านเข้าสู่ magnetic separator เพื่อทำการแยกเศษโลหะออกจากนั้นแป้งจะเข้าสู่เครื่องบดละเอียดและเข้าสู่ตู้แป้ง จะมีตะแกรงร่อนขนาด 100 mesh แป้งที่ไม่ผ่านตะแกรงจะเป็นแป้งหยาบต้องให้ผ่านเครื่องเป่าลมใหม่ ส่วนแป้งที่ผ่านการร่อนแล้วจะทำการบรรจุให้ลูกค้า

น้ำเสียที่ได้ทั้งหมดจะนำเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียโดยแบ่งเป็น

1. น้ำเสียจากขบวนการโม่แป้งจะเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ (anaerobic)
2. น้ำเสียจากขบวนการ modified starch จะเข้าสู่ระบบบำบัดแบบใช้อากาศ (aerobic) เนื่องจากน้ำเสียที่มีสารเคมีสูง ถ้านำเข้าสู่ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ (anaerobic) อาจทำให้เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ย่อยตายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ระบบบำบัดน้ำเสียของบริษัทสำปะหลังพัฒนาจำกัด

ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ (anaerobic)

มีลักษณะเป็นโดมพลาสติกทำด้วยไฟเบอร์ชนิดพิเศษที่ทนต่อความร้อน เป็นระบบปิด โดยน้ำเสียก่อนเข้าระบบนี้จะทำการ pretreat เพื่อปล่อยให้ตกตะกอนก่อน แล้วจึงเข้าสู่บ่อหมัก

1. **high load** น้ำเสียที่เข้ามาจะมี BOD 12,000 – 18,000 mg/L เริ่มต้นจะใช้ acid bacteria ทำการย่อยน้ำเสียก่อน ซึ่งทำให้เกิดสภาวะกรด ผลพลอยได้ของผลิตภัณฑ์จะเป็นอาหารของ methane bacteria ใน low load ส่วนแก๊สที่เกิดขึ้นจะเป็น biogas คือ CH_4 และ CO_2 ซึ่งจะใช้ในการเป็นเชื้อเพลิงโดยจ่ายไปยังระบบ modified starch สามารถจุดไฟได้ในเตาที่ใช้ความร้อนในการอบแป้ง สุดท้ายน้ำเสียที่ออกจากระบบนี้จะมี BOD ประมาณ 10,000 mg/L

กรณีที่ค่า pH ของระบบนี้ต่ำมาก ต้องมีการ return sludge จาก activated sludge ที่มี pH เป็น 7 – 8 มาช่วยปรับ pH ให้เหมาะสม แต่มีการ return sludge นี้น้อยเนื่องจากถ้าใช้จำนวนมากจะมีพิษต่อเชื้อได้ เพราะเชื้อเป็น acid bacteria

2. **low load** จะทำการปรับน้ำเสียจาก high load ให้เป็นกลางโดยใช้โซดาไฟ แล้วน้ำจะเข้าสู่ระบบ aerobic

ระบบบำบัดแบบใช้อากาศ (aerobic)

น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ จะมีน้ำเสียจากขบวนการ modified starch และน้ำเสียจากระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ (anaerobic) ระบบนี้มีการเติมอากาศใต้น้ำด้วย blower หัวจ่ายอากาศจะทำให้เกิดฟองอากาศเล็กๆขึ้น ทำให้มีการแลกเปลี่ยนที่ดี มีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบทั่วๆไป เมื่อผ่านจากบ่อเติมอากาศเพื่อให้จุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนในการย่อยสารอินทรีย์แล้วจะเข้าสู่ถังตกตะกอน เมื่อตกตะกอนแล้วน้ำที่ออกจากระบบจะปล่อยออกสู่ทะเล ซึ่งมี BOD ต่ำกว่า 20 mg/L pH 8 – 9 มีของแข็งที่แขวนลอย (SS) ประมาณ 50 mg/L และของแข็งที่ละลายได้ (DS) ประมาณ 2,800 mg/L ซึ่งอยู่ในมาตรฐานการปล่อยน้ำเสียออกสู่สิ่งแวดล้อม ส่วนตะกอนที่ได้จะเข้าสู่บ่อพักตะกอน เพื่อนำบางส่วนเติมลงระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศเพื่อปรับ pH ส่วนที่เหลือจะเข้าสู่การรีดตะกอนโดยมีการเติมสารโพลิเมอร์เพื่อให้ตะกอนรวมตัวกันและสามารถรีดออกมาเป็นแผ่นได้ ปริมาณตะกอนที่ได้ประมาณ 20 – 30 ตัน/วัน

อุปสรรคในระบบนี้คือ ในน้ำเสียของโรงงานแป้งมันสำปะหลังจะมีเกลือซัลเฟตมากซึ่งไม่สามารถนำตะกอนมาทำการ return sludge ไปยังระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศได้ เนื่องจากถ้าเติมลงไปจะทำให้เป็นพิษต่อเชื้อจุลินทรีย์จึงทำให้เกิดตะกอนสะสมปริมาณมาก

2.4 ตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสีย

ตะกอน คือ ของแข็งแขวนลอยที่มีอยู่ในน้ำเสียที่ไม่สามารถย่อยสลายได้สมบูรณ์ และจะจมลงสู่ด้านล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตะกอนส่วนเกินเกิดขึ้นในการบำบัดน้ำเสียทั้งในระบบแบบไร้อากาศและแบบใช้อากาศ ในระบบบ่อหมัก การกำจัดตะกอนส่วนเกินควรดำเนินการเป็นช่วงๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาวะของแต่ละโรงงาน ตะกอนขั้นสุดท้ายจะถูกกำจัดออกไปอย่างต่อเนื่อง โดยในกากตะกอนมีปริมาของน้ำอยู่สูง

กากตะกอนที่เกิดขึ้นจากระบบบำบัดขั้นทุติยภูมิ จะประกอบด้วยมวลชีวภาพของจุลินทรีย์เป็นส่วนใหญ่ และมีของแข็งแขวนลอยที่ยากต่อการกำจัดปนเปื้อนในปริมาณน้อย เป็นที่ทราบกันดีว่า แร่ธาตุและโลหะหนักในน้ำทิ้งสามารถถูกดูดซับ (absorbed) โดยจุลินทรีย์ในระบบบำบัดได้ ดังนั้นตะกอนส่วนเกินในบ่อบำบัดน้ำเสียจึงมีการสะสมโลหะหนัก

2.5 การนำตะกอนมาใช้ประโยชน์

ในระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานมันสำปะหลังมีการเกิดตะกอนในระบบ โดยตะกอนที่เกิดขึ้นนี้ส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ ซึ่งสามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้โดย

1. การผลิตแก๊สชีวภาพ (Biogas Production)

เกิดขึ้นในกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ ซึ่งเป็นกระบวนการที่ซับซ้อนมาก จะมีสารเกิดขึ้นระหว่างปฏิกิริยานับร้อยชนิด แต่ละปฏิกิริยาก็จะมีเอนไซม์ที่เฉพาะเจาะจงเข้ามาเกี่ยวข้อง

องค์ประกอบของแก๊สชีวภาพจะไม่คงที่ องค์ประกอบคร่าวๆ มีดังนี้

CH_4	55 – 65 %
CO_2	35 – 45 %
N_2	0 – 3 %
H_2	0 – 1 %
H_2S	0 – 1 %

แก๊สที่ได้ต้องการให้มีมีเทน (CH_4) มากที่สุดเพราะว่าเป็นแก๊สที่มีค่าความร้อนสูง (High Calorific Value) ถึงประมาณ 9,000 kcal/m^3 โดยทั่วไปค่าความร้อนของแก๊สชีวภาพประมาณ 4,500 – 6,300 kcal/m^3 ขึ้นกับปริมาณแก๊สอื่นๆ ที่ปนอยู่กับมีเทน

2. การทำปุ๋ยหมัก (Composting)

การทำปุ๋ยหมัก คือ กระบวนการย่อยสลายทางชีววิทยาและทำให้ได้สารอินทรีย์ที่อยู่ตัว ซึ่งสามารถนำไปใช้กับพื้นดินโดยไม่มีผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม หรือคือการควบคุมกระบวนการที่ใช้อากาศ (Aerobic Process) ภายใต้อุณหภูมิที่จุลินทรีย์เจริญได้ดีทั้ง mesophilic และ thermophilic bacteria ทำให้ได้คาร์บอนไดออกไซด์ , น้ำ , แร่ธาตุ และสารอินทรีย์ที่อยู่ตัว โดยทั่วไปการทำปุ๋ยหมักใช้กับสารอินทรีย์ที่เป็นของแข็งและกึ่งของแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำปุ๋ยหมักแบ่งได้เป็น

การหมักแบบใช้อากาศ (Aerobic Composting) คือการย่อยสลายของเสียที่เป็นสารอินทรีย์ (Organic Waste) ในที่ที่มีออกซิเจน (อากาศ) ได้ผลผลิตขั้นสุดท้ายจากกระบวนการเมตาบอลึซึม คือ คาร์บอนไดออกไซด์ , แอมโมเนีย , น้ำ และความร้อน

การหมักแบบไร้อากาศ (Anaerobic Composting) คือการย่อยสลายของเสียที่เป็นสารอินทรีย์ (Organic Waste) ในที่ที่ไม่มีออกซิเจน ผลผลิตขั้นสุดท้ายคือ มีเทน , คาร์บอนไดออกไซด์ , แอมโมเนีย , trace amounts of other gases และ low – molecular – weight organic acids แอมโมเนียจะถูกออกซิไดซ์ต่อเป็นไนเตรตโดย nitrifying bacteria ระหว่างเก็บไว้

สำหรับกระบวนการหมักแบบใช้ออกซิเจนจะมีอัตราการย่อยสลายเร็วกว่าแบบไร้ออกซิเจน จึงนิยมใช้กับขยะอินทรีย์ปริมาณมากๆ ส่วนกระบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนเกิดขึ้นช้า มีกลิ่นเหม็นของพวก mercaptans และซัลไฟด์ ขบวนการนี้อาจ operate ให้มีอุณหภูมิสูงได้ถึง thermophilic levels ได้ และสามารถทำได้ง่าย

3. ให้พลังงาน

สำหรับของเสียหรือตะกอนที่มีส่วนประกอบของสารอินทรีย์ปริมาณมากย่อมเกิดการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ ซึ่งกระบวนการที่เกิดขึ้นอาจเป็นแบบใช้ออกซิเจนและแบบไร้ออกซิเจนหรืออาจเกิดขึ้นร่วมกัน ซึ่งในการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนจะให้ปริมาณความร้อนสูงกว่าแบบใช้ออกซิเจน ดังนั้นหากมีการควบคุมระบบให้มีสภาวะที่เหมาะสมก็จะได้แหล่งพลังงานความร้อนที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้

4. **การผลิตสาหร่าย (Algae Production)**

การเลี้ยงสาหร่ายในน้ำเสียจะทำให้ได้โปรตีนที่อยู่ในเซลล์ของสาหร่าย การผลิตสาหร่ายจากน้ำเสียจึงเป็นการเปลี่ยนของเสียที่อยู่ในรูปโปรตีนที่มีประโยชน์ แต่สำหรับระบบบำบัดน้ำเสียที่มีตะกอนเกิดขึ้นปริมาณมาก อาจทำการกำจัดตะกอนโดยการนำมาใช้เลี้ยงสาหร่าย

ซึ่งสาหร่ายสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้โดย

- ใช้เป็นอาหารเลี้ยงสัตว์
- ใช้เป็นปุ๋ย
- ให้พลังงาน
- เป็นแหล่งสารเคมี

5. **เป็นอาหารเลี้ยงปลา**

การเลี้ยงปลาโดยใช้ของเสียหรือกากตะกอน ต้องคำนึงถึงพันธุ์ปลาที่จะนำมาเลี้ยง ควรเลือกสายพันธุ์ที่มีลักษณะกินอาหารง่าย โตเร็ว และมีความอดทนต่อเชื้อโรคและสภาวะแวดล้อมที่ไม่ค่อยดีได้ โดยการเลี้ยงอาจใช้วิธี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การป้อนตะกอนเข้าไปในบ่อเลี้ยงปลาในปริมาณที่เหมาะสม เพื่อใช้เป็นอาหารปลาโดยตรง ปลาที่เลี้ยงโดยวิธีการนี้จะให้ผลผลิตค่อนข้างต่ำเนื่องจากปริมาณสารอาหารไม่เพียงพอสำหรับการเจริญเติบโต

- การป้อนตะกอนเข้าไปในบ่อเลี้ยงปลาเพื่อให้เกิดสาหร่ายขึ้นในบ่อ โดยปลาจะใช้ทั้งตะกอนและสาหร่ายเป็นอาหาร ซึ่งวิธีการนี้ปลาจะได้ปริมาณโปรตีนสูงจากสาหร่าย

- การนำตะกอนมาทำการแปรรูปให้เป็นสูตรอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลา ซึ่งปลาที่ได้จะมีคุณภาพดีกว่าวิธีอื่น แต่ใช้งบประมาณในการลงทุนสูง

ปลาหรือผลผลิตที่ได้จากการเลี้ยงโดยใช้ตะกอนนี้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้โดย

1. **เป็นอาหารของมนุษย์**

ลักษณะของปลาที่นำมาเป็นอาหารของมนุษย์

- ตัวใหญ่
- ปลอดภัยจากเชื้อโรคและไข่พยาธิ
- มีคุณค่าทางอาหาร

การเพิ่มขนาดของปลา

- เพิ่ม N loading
- ขยายเวลาการเพาะเลี้ยง
- เลี้ยงที่ความหนาแน่นของปลาต่ำ

2. **เป็นอาหารให้กับสัตว์อื่น**

การใช้ปลาเป็นอาหารสัตว์เหมาะสำหรับปลาที่เจริญในบ่อน้ำเสียโดยตรง เป็นการขยายห่วงโซ่อาหาร (Food Chain) และลดการเป็นพาหะนำโรค คุณค่าทางโปรตีนของปลาจัดว่าสูง เหมาะสำหรับใช้เลี้ยงหมูและไก่ การเลี้ยงปลาเป็นอาหารสัตว์อาจเลี้ยงที่ความหนาแน่นของปลาสูงและระยะเวลาในการเลี้ยงสั้น ปลาที่ได้อาจทำปลาแห้ง , บด และผสมกับอาหารสัตว์อื่นๆ เพื่อเพิ่มคุณค่า

2.6 ปลานิล

อนุกรมวิธาน

การจัดลำดับชั้น (Classification) ของปลานิล

Phylum Vertebrata

Class Osteichthyes

Order Perciformes

Family Cichlidae

Genus Oreochromis

Species Niloticus

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปลานิลมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Oreochromis niloticus* (Linn.) จัดอยู่ในวงศ์ Cichlidae ซึ่งปลาในวงศ์นี้มีอยู่ประมาณ 700 ชนิด

แหล่งกำเนิดและการแพร่กระจาย

ปลานิล (*Tilapia nilotica*) มีถิ่นกำเนิดอยู่ในทวีปแอฟริกา พบได้โดยทั่วไปตามทะเลสาบและแม่น้ำแทบทุกสาย แต่พบว่าปลานิลมีอยู่ชุกชุมตามแถบลุ่มแม่น้ำไนล์ในประเทศอียิปต์และปาเลสไตน์ ต่อมาได้มีผู้นำเอาปลานิลไปเลี้ยงยังประเทศต่างๆ ทั้งในภาคตะวันออกกลางและตะวันออกใกล้ เช่น ประเทศญี่ปุ่น ไต้หวัน มาเลเซีย อินโดนีเซีย และอีกหลายประเทศ รวมทั้งประเทศไทยด้วย

สำหรับประเทศไทยนั้น ปลานิลได้เริ่มเข้ามามีบทบาทเป็นครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 2508 โดยเจ้าชายอากิฮีโตมกุฎราชกุมารแห่งประเทศญี่ปุ่น ได้จัดส่งปลานิลจำนวน 50 ตัว มีความยาวเฉลี่ยตัวละประมาณ 9 เซนติเมตร น้ำหนักเฉลี่ยประมาณ 14 กรัม มาทูลเกล้าถวายแด่พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว เมื่อวันที่ 25 มีนาคม 2508 ในระยะแรกได้ทรงพระกรุณาโปรดเกล้าฯ ให้ปล่อยลงเลี้ยงในบ่อดินเนื้อที่ประมาณ 10 ตารางเมตร ในบริเวณสวนจิตรลดา พระราชวังดุสิต เมื่อเลี้ยงได้ 5 เดือนเศษปรากฏว่ามีลูกปลาเกิดขึ้นเป็นจำนวนมากจึงได้ทรงพระกรุณาโปรดเกล้าฯ ให้เจ้าหน้าที่สวนหลวงขุดบ่อขึ้นใหม่อีก 6 บ่อ มีเนื้อที่เฉลี่ยบ่อละประมาณ 70 ตารางเมตร ซึ่งในโอกาสนี้พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวได้ทรงย้ายปลาด้วยพระองค์เองจากบ่อเดิมไปปล่อยในบ่อใหม่ทั้ง 6 บ่อเมื่อวันที่ 1 กันยายน 2508 ต่อจากนั้นทรงพระกรุณาโปรดเกล้าฯ มอบให้กรมประมงจัดส่งเจ้าหน้าที่วิชาการมาตรวจสอบการเจริญเติบโตเป็นประจำทุกเดือน

ด้วยเหตุที่ปลานิลเป็นปลาจำพวกกินพืชเป็นอาหาร เลี้ยงง่าย มีรสชาติของเนื้อดี ออกลูกดก และเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว ในเวลา 1 ปี จะมีน้ำหนักประมาณครึ่งกิโลกรัม และมีความยาวประมาณ 1 ฟุต พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวจึงได้มีพระราชประสงค์ที่จะให้ปลานี้แพร่ขยายพันธุ์อันจะได้เป็นประโยชน์แด่พสกนิกรของพระองค์ต่อไป ดังนั้นในวันที่ 17 มีนาคม 2509 ซึ่งเป็นระยะเวลาเดียวกันกับที่มกุฎราชกุมารแห่งญี่ปุ่นได้จัดส่งพันธุ์ปลามาทูลเกล้าฯ ถวายและทรงเลี้ยงไว้ที่บริเวณสวนจิตรลดาเป็นเวลาเกือบครบ 1 ปี จึงทรงพระกรุณาโปรดเกล้าฯ พระราชทานชื่อปลาชนิดนี้ว่า ปลานิล และได้พระราชทานปลานิลขนาดยาว 3 – 5 เซนติเมตร จำนวน 1000 ตัว ให้แก่กรมประมงไปเพาะเลี้ยงขยายพันธุ์ที่แผนกทดลองและเพาะเลี้ยง ในบริเวณเกษตรกลางบางเขนและสถานที่ประมงต่างๆ ที่พระราชอาณาจักรอีกรวม 15 แห่ง เมื่อดำเนินการเพาะเลี้ยงขยายพันธุ์พร้อมกัน ซึ่งเมื่อปลานิลนี้แพร่ขยายพันธุ์ออกไปได้มากเพียงพอแล้วจะได้จ่ายแจกให้แก่ราษฎรนำไปเพาะเลี้ยงตามความต้องการต่อไป

รูปร่างและลักษณะ

ปลานิลมีรูปร่างและลักษณะคล้ายกับปลาหมอเทศมากที่สุด แต่จะมีสีจางกว่าปลาหมอเทศเล็กน้อย หัวจะมีลักษณะเล็กราบเรียบ บริเวณริมฝีปากล่างกับริมฝีปากบนจะเสมอกัน มีซี่เหงือกประมาณ 19 – 28 ซี่ ขอบตามีสีแดง ที่กระดูกแก้มจะมีจุดสีเข้มอยู่ 1 จุด ที่แก้มจะมีเกล็ดอยู่ด้วย 4 แถว ลำตัวป้อม มีสีเขียวปนน้ำตาลและมีลายพาดขวางประมาณ 9 –10 แถว ระยะห่างระหว่างแถวขวางแต่ละอันจะกว้างกว่าความกว้างของแถวเล็กน้อย ลักษณะของลายจะพาดขวางจากส่วนหลังมายังส่วนท้องอย่างสมบูรณ์โดยจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่แตกเป็นแฉก ด้านหลังหนา ที่บริเวณส่วนอ่อนของครีบหลัง ครีบก้น และครีบหางจะมีลายประจุดสีขาว และเส้นสีดำตัดขวาง ปลานิลจะแตกต่างจากปลาหมอเทศตรงที่ปลานิลมีเกล็ด 3 แถว ที่บริเวณแก้ม และอีก 1 แถวตรงบริเวณเหนือเส้นข้างตัวเล็กน้อย ครีบหลังมีครีบเดียว ประกอบไปด้วยก้านครีบแข็ง 15 –18 อัน และก้านครีบอ่อน 12 – 14 อัน ครีบก้นจะประกอบไปด้วยก้านครีบแข็ง 3 อัน และก้านครีบอ่อน 9 – 10 อัน บนแถบเส้นข้างตัวจะมีเกล็ดอยู่ 33 เกล็ด ทางด้านข้างมีเกล็ดตามแนวเดียวจากด้านบนของครีบหลังลงมาจนถึงเส้นข้างตัว จำนวน 5 เกล็ด และเกล็ดจากเส้นข้างลำตัวลงมาถึงส่วนหน้าของครีบก้นจำนวน 13 เกล็ด

อุปนิสัยและคุณสมบัติบางประการของปลานิล

ตามปกติปลานิลจะชอบอาศัยอยู่รวมกันเป็นฝูงตามแม่น้ำลำคลอง หนองบึงและทะเลสาบ ที่เป็นแหล่งน้ำจืด แต่สามารถนำปลานิลไปเลี้ยงยังน้ำกร่อยได้เนื่องจากปลานิลมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมได้ดี สามารถมีชีวิตอยู่ได้ในช่วงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิกว้างมาก คือตั้งแต่ 11 – 42 องศาเซลเซียส แต่ถ้าอุณหภูมิของน้ำลดลงต่ำกว่า 4.5 องศาเซลเซียส ปลานิลจะตายทันที เกี่ยวกับความทนทานของปลานิลต่อความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำนั้น ถ้าหากน้ำมี pH 6.5 – 5.5 ปลานิลจะเริ่มตายทันที โดยคิดเป็นอัตราการตายเฉลี่ย 10 เปอร์เซ็นต์ และถ้าน้ำมี pH 5.5 – 4.5 ปลานิลจะมีอัตราการตายเฉลี่ย 70 เปอร์เซ็นต์ และถ้าหากน้ำมี pH 4.5 – 3.5 ปลานิลจะตายทั้งหมด นอกจากนี้แล้วปลานิลยังมีความทนทานต่อความเค็มของน้ำอีกคือ ปลานิลสามารถอยู่ได้อย่างปลอดภัยในน้ำที่มีความเค็มสูงสุดคือ 2 เปอร์เซ็นต์ ด้วยเหตุนี้เองที่ทำให้ปลานิลสามารถเลี้ยงในน้ำกร่อยได้

สำหรับอาหารและนิสัยการกินอาหารนั้น ปลานิลเป็นปลาที่กินทั้งเนื้อและพืช แต่จะชอบกินสาหร่ายแพลงตอนที่อาศัยอยู่ในน้ำ ตัวอ่อนของแมลง อินทรีย์วัตถุที่สลายตัวแล้วบริเวณก้นบ่อ เมื่อปลานิลมีขนาดโตขึ้น จะกินพืชพวกสาหร่าย แหนและส่วนอ่อนของใบพืช อาหารตามธรรมชาติของปลานิล ได้แก่ ไรน้ำ ตะไคร่น้ำ และตัวอ่อนของแมลง ส่วนอาหารเสริมได้แก่ รำ ปลายข้าว กากถั่วลิสง แหนเป็ด และปลาป่น

การเลี้ยงปลานิลในบ่อ ส่วนมากจะนิยมใช้อาหารจำพวกรำ เศษอาหาร พืชจำพวกแหนและมูลสัตว์ ต่อมาได้มีการปรับปรุงคุณภาพของอาหารปลานิล โดยเน้นรายละเอียดเกี่ยวกับปริมาณโปรตีนในอาหารผสมให้ได้ระดับที่ต้องการ เพื่อช่วยให้ปลาโตเร็วขึ้นโดยใช้ส่วนผสมของรำ ปลายข้าว กากถั่วเหลือง ใบกระถินแห้ง ปลาป่น เกลือแร่ และวิตามินเป็นอาหาร

คุณค่าทางโภชนาการและประโยชน์

ปลานิลจัดได้ว่าเป็นอาหารที่มีโปรตีนสูง และราคาค่อนข้างถูกเมื่อเปรียบเทียบกับราคาของเนื้อวัว เนื้อหมู เนื้อเป็ด และเนื้อไก่ จากการวิเคราะห์ทางด้านคุณค่าทางโภชนาการของปลานิลจะประกอบไปด้วย

โปรตีน	19.05 %
ไขมัน	0.95 %
ความชื้น	78.9 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เถ้า	1.1 %
คาร์โบไฮเดรต	- %
พลังงาน (แคลอรี่/100 กรัม)	91.0 %

การให้อาหารปลานิล

แม้ว่าปลานิลจะเจริญเติบโตได้ตามปกติจากการกินอาหารตามธรรมชาติที่มีอยู่ในบ่อไป แต่เพื่อให้ปลาโตเร็วก็ควรให้อาหารสมทบพวกรำ ปลายข้าว กากถั่วด้วย การให้อาหารจะให้วันละ 1 ครั้ง หรือ 2 ครั้ง แล้วแต่ความสะดวกของผู้เลี้ยง ควรกะปริมาณให้พอดีไม่ควรให้มากจนเกินไป ส่วนมากจะให้ราว 4 เปอร์เซนต์ของน้ำหนักปลาที่เลี้ยง ถ้ามีการให้อาหารอัดเม็ดโปรตีน 25 เปอร์เซ็นต์ก็ให้ได้วันละ 10 เปอร์เซนต์ของน้ำหนักตัว แล้วปรับปริมาณอาหารเพิ่มขึ้นได้ตามขนาดน้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น การใช้อาหารถ้าให้มากเกินปลาก็จะกินไม่หมด และจะทำให้น้ำในบ่อเสียได้

การเจริญเติบโต ปลานิลเป็นปลาที่โตเร็ว มีอัตราการรอดของลูกปลาสูง การเลี้ยงปลานิลจึงไม่ควรปล่อยให้มีปลาแน่นบ่อเกินไป หากปลาแน่นบ่อมากส่วนใหญ่ก็จะไม่เจริญเติบโตเท่าที่ควร ในกรณีที่เห็นว่าปลาแน่นบ่อมากก็ทยอยจับไปขายบ้าง คนที่เลี้ยงปลานิลชำนาญแล้ว อาจเลี้ยงปลานิลร่วมกับปลากินเนื้อได้ โดยการให้ปลากินเนื้อได้กำจัดลูกปลาที่เกิดใหม่ออกเสียบ้าง วิธีนี้จะเริ่มเลี้ยงปลานิลให้มีขนาดโตพอที่จะผสมพันธุ์วางไข่ได้เสียก่อน จึงปล่อยปลากินเนื้อลงไป ลูกปลากินเนื้อจะกินแพลงค์ตอน ไรน้ำก่อนแล้วเมื่อโตพอที่จะจับลูกปลานิลกินได้ก็จะจับลูกปลานิลกิน ประโยชน์ของการเลี้ยงโดยวิธีนี้นอกจากจะเป็นการลดจำนวนปลาแล้ว ยังมีผลพลอยได้จากปลากินเนื้อที่เติบโตในบ่อด้วย

ตารางที่ 1.1 แสดงการเจริญเติบโตของปลานิล

อายุ (เดือน)	ความยาว (เซนติเมตร)	หนัก (กรัม)
3	10	30
6	20	200
9	25	350
12	30	500

ที่มา : เพิ่มพูน (2531)

ปลาต้องการพลังงานเพื่อการเจริญเติบโต ใช้ในกิจกรรมต่างๆ และเพื่อการสืบพันธุ์ อัตราการใช้พลังงาน (Metabolism) จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความหนาแน่น ชนิด อายุ ขนาดของปลา หรือใช้ในกิจกรรมต่างๆของสภาวะทางกายภาพ การอดอาหาร และการเปลี่ยนแปลงภายในร่างกายปลาที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับฤดูกาล สำหรับความเข้มข้นของออกซิเจน หรือคาร์บอนไดออกไซด์ ค่า pH และความเค็มของน้ำก็มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการใช้พลังงานของปลา การใช้ประโยชน์จากอาหารปลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แตกต่างจากสัตว์ชนิดอื่นๆ ปลาบางอย่างใช้โปรตีนและคาร์โบไฮเดรตเป็นพลังงานเบื้องต้น ซึ่งต่างจากสัตว์อื่นๆ ที่ใช้คาร์โบไฮเดรตเป็นพลังงานเบื้องต้น เนื่องจากข้อมูลที่เกี่ยวกับความต้องการพลังงานเพื่อการเจริญเติบโตของปลายังมีไม่มากพอที่จะสรุปได้ว่าปลาต้องการพลังงานเท่าใดสำหรับการเจริญเติบโต แต่การใช้ระดับโปรตีนและแหล่งที่มาของโปรตีนอย่างเหมาะสมเพื่อให้ได้พลังงานภายหลังการย่อยที่ดีจะเป็นแนวทางให้ปลามีการเจริญเติบโตที่ดี

2.7 อาหารเลี้ยงปลา

อาหาร คือ สิ่งที่สัตว์น้ำกินและเกิดประโยชน์ต่อร่างกาย โดยซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ สร้างความเจริญเติบโตให้แก่ร่างกายและช่วยทำให้กระบวนการต่างๆ ในการดำรงชีวิตดำเนินไปอย่างปกติ

องค์ประกอบของอาหาร (Dietary Components) ต้องประกอบด้วยอาหารซึ่งใช้บำรุงร่างกายตามความต้องการของปลา จะต้องประกอบด้วยสารอาหารจำพวกโปรตีน ลิปิด คาร์โบไฮเดรต และสารอาหารอื่นๆที่ไม่ให้พลังงานอัน ได้แก่ วิตามิน และแร่ธาตุต่างๆ การใช้สารอาหารโปรตีน ไขมันและคาร์โบไฮเดรตจะต้องใช้ให้ถูกต้องตามความต้องการของปลาแต่ละชนิดและแต่ละวัย แหล่งที่มาของอาหารปลาจะมีผลต่อการย่อยอาหารของปลา โดยทั่วๆ ไปแล้วปลาจะย่อยอาหารพวกเนื้อสัตว์ได้เร็วกว่าอาหารที่มาจากพวกพืช วิธีการผลิตอาหารก็มีผลต่อการย่อยด้วย เช่น ใช้ความร้อนสูงเกินไป และการทำให้แห้งมากเกินไป จะลดประสิทธิภาพการย่อยอาหารของปลา และทำลายพวกวิตามิน อาหารที่ปนพวกแป้งในปริมาณน้อยปลาจะย่อยได้ดีกว่าอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตปนในปริมาณสูง

คาร์โบไฮเดรต

โดยทางเคมีทั่วๆไป มีองค์ประกอบทางเคมีที่ง่ายที่สุดในกลุ่มอาหารพลังงานด้วยกัน มีพวกโปรตีนและไขมันรวมอยู่ด้วย เป็นแหล่งพลังงานแก่สิ่งมีชีวิตที่มีราคาถูกที่สุด เป็นพลังงานที่อาจถูกใช้อย่างทันทีโดยที่ปลากินเข้าไปหรืออาจเป็นพลังงานสำรองของสัตว์ โดยที่สัตว์นั้นจะแปรรูปคาร์โบไฮเดรตเป็นไขมัน

รูปแบบโดยทั่วๆ ไปของคาร์โบไฮเดรต

1. น้ำตาล (sugar) เป็นรูปแบบที่ง่ายที่สุดของคาร์โบไฮเดรตและย่อยได้ง่าย พบในนม ผลไม้ น้ำผึ้ง และผักบางอย่าง

2. แป้ง (starch) เป็นรูปแบบที่ค่อนข้างซับซ้อนและย่อยยาก พบมากในข้าว ข้าวโพด มันชนิดต่างๆ และพืชอื่นๆ

3. เซลลูโลส (cellulose) เป็นรูปแบบที่ซับซ้อนที่สุดของคาร์โบไฮเดรต พบในลำต้นของหญ้า เนื้อไม้ เปลือกของผลไม้ สัตว์ที่จะใช้ประโยชน์ได้ ได้แก่ พวกสัตว์กินพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียดของคาร์โบไฮเดรตในแต่ละรูปแบบ

1. simple sugar เป็นแบบที่ง่ายที่สุดของคาร์โบไฮเดรต น้ำตาลเหล่านี้จะถูกดูดซึมเข้าไปในร่างกาย ในขณะที่กินเข้าไป การย่อยไม่สู้จะจำเป็นนัก มีอยู่ด้วยกัน 3 ชนิด คือ กลูโคส (glucose) , ฟรักโตส (fructose) , กาแลคโตส (galactose)

2. compound sugar เกิดขึ้นโดยการรวมตัวทางเคมีของ simple sugar 2 ตัว น้ำตาลนี้ เมื่อถูกย่อยจะแตกตัวออกเป็น simple sugar แล้วจึงดูดซึมเอาไปใช้ ซึ่งแบ่งได้ 3 อย่าง คือ ซูโคลส (sucose) , มอลโตส (maltose) , แลคโตส (lactose)

3. complex carbohydrate เป็นแบบที่ซับซ้อนที่สุด ได้แก่ แป้ง , เซลลูโลส

ในกรณีที่เป็น Simple Sugar และอาจเป็นพลังงานสำรองโดยจะแปรรูปไปเป็นไขมัน ความต้องการคาร์โบไฮเดรตของปลายังไม่มีการกำหนดปริมาณความต้องการที่แน่นอนในปลาแต่ละชนิด เนื่องจากความรู้ด้านคาร์โบไฮเดรตในตัวปลามีน้อยมาก

ความต้องการคาร์โบไฮเดรต : การศึกษาเกี่ยวกับคาร์โบไฮเดรตนั้นยังต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมอีกมาก และยังไม่ได้มีการกำหนดแน่ชัดไปว่า สัตว์น้ำชนิดใดมีความต้องการคาร์โบไฮเดรตในปริมาณเท่าใด สำหรับปลาพบว่าปริมาณของคาร์โบไฮเดรตที่มากเกินไปจะส่งผลให้มีไกลโคเจนสะสมอยู่ในตับของปลามาก มีการวิเคราะห์ว่าถ้ามีไกลโคเจนสะสมอยู่เกินกว่า 12% ของน้ำหนักตับ ปลาจะมีอาการเป็นโรคตับ และถ้ามีมากถึง 16% ปลาจะตาย ดังนั้นจึงพอสรุปได้ว่าการให้คาร์โบไฮเดรตกับปลามากเกินจะทำให้เกิดโทษและโดยปกติเราจะพบว่าปลามักจะไม่ขาดคาร์โบไฮเดรต

โปรตีน

โปรตีนเป็นสารพวกอินทรีย์วัตถุที่มีจำนวนมากที่สุดในร่างกายของสัตว์ สัตว์ต้องการโปรตีนตลอดเวลาที่สัตว์นั้นยังมีชีวิตอยู่และสัตว์ที่กำลังเจริญเติบโตจะต้องการโปรตีนมากกว่าเมื่อโตเต็มวัยแล้ว ปลาก็ต้องการโปรตีนเช่นเดียวกันกับสัตว์ชนิดอื่นๆ ปลาต้องการโปรตีนในระดับที่แตกต่างกันในปลาแต่ละชนิด ปลากินเนื้อจะต้องการปริมาณโปรตีนสูงกว่าปลาที่กินทั้งเนื้อและพืชและสูงกว่าปลาที่กินพืชเพียงอย่างเดียว สำหรับปลาวัยอ่อนก็ต้องการโปรตีนสูงกว่าปลาที่โตเต็มวัยแล้ว

โปรตีนและกรดอะมิโน

วิมล (2537) กล่าวว่า โปรตีนเป็นโภชนะที่สัตว์น้ำต้องการมากเป็นอันดับหนึ่ง คือ ประมาณ 30-50% ในอาหารเพื่อใช้เป็นสารอาหารสำหับร่างกายในการสร้าง เนื้อ หนัง อวัยวะต่างๆ เอนไซม์ อฮร์โมน ภูมิคุ้มกัน และสารพันธุกรรม ที่ถูกต้องแล้วต้องน้ำไม่ได้ต้องการโปรตีน แต่ต้องการกรดอะมิโนที่อยู่โปรตีนเพื่อนำเอากรดอะมิโนเหล่านี้สร้างเป็นโปรตีนของตัวสัตว์น้ำเองกรดอะมิโนสัตว์น้ำต้อง

การมีประมาณ 20 ตัว ในจำนวนนี้มี 10 ตัว ที่ร่างกายสัตว์น้ำไม่สามารถสังเคราะห์ขึ้นเองได้และจะต้องได้จากอาหารเท่านั้น เรียกกรดอะมิโนทั้ง 10 ตัวนี้ว่า “กรดอะมิโนที่จำเป็น” ส่วนอีก 10 ตัวร่างกายสังเคราะห์ขึ้นเองได้จึงไม่จำเป็นต้องมีในอาหาร สัตว์น้ำต้องได้รับกรดอะมิโนที่จำเป็นครบทุกตัวในปริมาณพอเหมาะ จึงจะทำให้ร่างกายสร้างโปรตีนได้ ถ้าขาดตัวใดตัวหนึ่งร่างกายจะหยุดการเจริญเติบโต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทันที ซึ่งกรดอะมิโนที่จำเป็น ที่สัตว์น้ำไม่สามารถสังเคราะห์เองได้นี้ จะแสดงดังตารางที่ 1 โดยเ
ปริมาณที่ต้องการ วัดเป็นหน่วยน้ำหนักร้อยละของโปรตีนในอาหาร (% ของโปรตีน)

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าเฉลี่ยของความต้องการกรดอะมิโนของสัตว์น้ำทั่วไป

กรดอะมิโนที่จำเป็น			ปริมาณที่สัตว์น้ำต้องการ
เลขที่	ชื่อย่ออังกฤษ	ชื่อเต็ม	(% ของโปรตีน)
	P	ฟีนิลอาลานีน	6.3
2	V	วาลีน	3.5
3	T	ทรีโอนิน	3.1
4	T	ทริปโตเฟน	0.7
5	I	ไอโซลิวซิน	2.8
6	M	เมทไธโอนีน	3.6
7	H	ฮิสตีดีน	1.9
8	A	อาร์จีนีน	4.5
9	L	ลิวซีน	4.0
10	L	ไลซีน	5.3

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยจากความต้องการของปลากินเนื้อ ปลากินพืช และปลาที่กินทั้งเนื้อและพืช
ที่มา : วิมล (2537)

ความต้องการโปรตีนโดยทั่วไปและปัจจัยที่มีผลต่อความต้อการโปรตีนของปลา

วีรพงศ์ (2536) กล่าวว่า ปลามีความต้องการโปรตีนเพื่อการดำรงชีพ การเจริญเติบโตและการสืบพันธุ์ แต่ในทางด้านอาหารปลาได้มีการศึกษาความต้องการโปรตีนเพื่อการเจริญเติบโตมากกว่าความต้องการเพื่อการดำรงชีพ หรือการสืบพันธุ์ เนื่องจากสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้โดยตรงในการผลิตอาหารปลาเพื่อเลี้ยงปลาให้มีการเจริญเติบโตที่รวดเร็ว โดยโปรตีนเป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่สุดในอาหารธรรมชาติของปลาซึ่งได้พบว่ามีโปรตีนอยู่ 6.4-17.9 เปอร์เซ็นต์ ฉะนั้นถ้าอาหารที่ใช้เลี้ยงปลามีโปรตีนน้อยกว่า 6 เปอร์เซ็นต์ ปลาที่เลี้ยงจะไม่สามารถมีชีวิตอยู่ได้ และปลาแต่ละชนิดจะมีความต้องการโปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน วิตามิน ตลอดจนแร่ธาตุในปริมาณที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปถือว่าอาหารโปรตีนคืออาหารหลักที่สำคัญที่สุด และปลาโดยทั่วไป ถ้าได้รับปริมาณโปรตีนเพียงพอแก่ความต้องการของร่างการก็จะทำให้ปลามีการเจริญเติบโตเป็นปกติแต่ในทางตรงกันข้าม ถ้าปลาได้รับปริมาณโปรตีนน้อยกว่าความต้องการของร่างกายแล้วจะทำให้ปลามีการเจริญเติบโตช้าลง ซึ่งสารอาหารโปรตีนจะมีความเกี่ยวข้องกับระบบการทำงานโดยการสร้างเซลล์ใหม่ทดแทนเซลล์เก่า ช่วยในการเจริญเติบโตของร่างกาย

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้มีขนาดหรือน้ำหนักเพิ่มขึ้น เป็นแหล่งพลังงานสำรองของร่างกายและเป็นส่วนประกอบของ ควบคุมปฏิกริยาเคมีต่าง ๆเช่น เอนไซม์ ฮอร์โมน สารต้านทานโรค และฮีโมโกลบิน (อันธีประชา , 2507 อ้างตาม เจษฎา และ ฐิติมา , 2541) และโปรตีนเป็นองค์ประกอบสำคัญของอาหารสัตว์ สำหรับปลาโดยทั่วไปมีความต้องการอาหารโปรตีนสูงกว่านก หรือ สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม เนื่องจากปลามีความสามารถในการใช้ประโยชน์จากอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตน้อยกว่าปลาจึงอาศัยแหล่งโปรตีนเป็นพลังงานแทน ซึ่งปลามีความสามารถในการใช้อาหารโปรตีนได้ในปริมาณที่จำกัด โปรตีนส่วนประโยชน์ต่อไปได้แต่ถ้าอาหารมีพลังงานจากคาร์โบไฮเดรตไม่เพียงพอกับความต้องการของปลา แม้จะมีระดับโปรตีนสูงเกินความต้องการก็จะไม่ทำให้สัตว์น้ำเจริญเติบโตได้เท่าที่ควร ทั้งนี้เพราะโปรตีนจะต้องถูกเปลี่ยนสภาพเป็นพลังงานเสริมจากคาร์โบไฮเดรตและไขมัน ดังนั้นปริมาณโปรตีนที่เหมาะสมต่อสัตว์น้ำคือปริมาณตีนที่น้อยที่สุดที่ทำให้สัตว์น้ำมีการเจริญเติบโตสูงสุด (Hasting และ Dickie 1972 อ้างตาม ชุติพงศ์ , 2540)

วีรพงศ์ (2536) กล่าวไว้ว่าโดยทั่วไปความต้องการโปรตีนเพื่อการเจริญเติบโตของปลา อาจมีค่าเปลี่ยนแปลงไปได้ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยดังต่อไปนี้

1.) ขนาดปลา (Size)

โดยทั่วไปความต้องการโปรตีนของปลาจะมีค่าลดลงเมื่อปลามีขนาดหรืออายุมากขึ้นเพราะปลาขนาดใหญ่ขึ้นจะมีอัตราการเจริญเติบโตช้าลงอันเนื่องมาจากอัตราการสังเคราะห์โปรตีนในร่างกายต่ำกว่าปลาขนาดเล็ก จึงทำให้ปลาขนาดใหญ่มีความต้องการโปรตีนน้อยลง ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 2.3 แสดงความต้องการโปรตีนเพื่อการเจริญเติบโตของปลาขนาดต่าง ๆ

ชนิดปลา	วัยอ่อน	ขนาดเล็ก	ขนาดโต
ปลาเรนโบว์เทร้า	45-55	28-50	35-40
ปลาไหล	50-55	45-50	-
ปลาไน	43-47	37-42	28-32
ปลานิล	35-40	28-35	20-30
ปลาแซนเนลแคทฟิช	36-40	25-36	26-34

ที่มา : วีรพงศ์ (2536)

2.) อุณหภูมิ (Temperature)

ปลาโดยทั่วไปมีแนวโน้มที่ต้องการปริมาณโปรตีนมากขึ้น เมื่ออุณหภูมิน้ำสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามพบว่าปลาบางชนิดเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นก็ยังคงมีความต้องการโปรตีนเท่าเดิม และสาเหตุที่อุณหภูมิน้ำมีผลต่อความต้องการโปรตีนของปลาก็อาจเนื่องมาจากปลาได้รับปริมาณอาหารอย่างจำกัด หรือน้อยเกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ขณะที่ปลาจะมีระดับเมแทบอลิซึมสูงขึ้น และระยะเวลาที่อาหารหมดจากกระเพาะอาหารเร็วขึ้น ฉะนั้น อาหารที่มีระดับโปรตีนสูงกว่า จึงทำให้ปลาเจริญเติบโตดีกว่าอาหารที่มีระดับโปรตีนต่ำกว่า

3.) คุณภาพโปรตีน (Quality of protien)

ซึ่งโดยทั่วไปแล้วแหล่งโปรตีนในอาหารจะมีชนิดหรือปริมาณกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบที่แตกต่างกันไป ทำให้โปรตีนมีคุณภาพแตกต่างกัน แต่โดยความเป็นจริงแล้วความต้องการกรดอะมิโนจะมีความสำคัญต่อปลามากกว่าความต้องการโปรตีนเพื่อการเจริญเติบโต เนื่องจากปลาที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีนเท่ากัน แต่หากมีชนิดหรือปริมาณกรดอะมิโนเป็นองค์ประกอบแตกต่างกัน ก็ทำให้ปลามีการเจริญเติบโตแตกต่างกัน ปลาจะเจริญเติบโตได้ดีจึงต้องได้รับโปรตีนที่มีคุณภาพดีหรือมีกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบครบถ้วนทั้งคุณภาพและปริมาณ ดังนั้นปลาจึงมีความต้องการโปรตีนสูงขึ้น ถ้าอาหารมีกรดอะมิโนไม่ครบถ้วน

4.) ระดับพลังงานในอาหาร

อาหารที่มีพลังงานมากทำให้ปลากินอาหารลดลง เนื่องจากจะหยุดกินอาหารถ้าได้รับพลังงานมากเกินความต้องการของร่างกาย (Lee and Putnam , 1973) จึงทำให้นักโภชนาการอาหารปลาส่วนใหญ่นิยมผลิตอาหารทดสอบโปรตีนให้มีระดับพลังงานเท่ากัน (Isoenergetic diet)โดยมีระดับโปรตีนแตกต่างกันหลายระดับ เพื่อทดสอบความต้องการโปรตีนของปลา จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่าอาหารที่มีสัดส่วนของพลังงานและโปรตีนที่เหมาะสมจะทำให้ปลาเจริญเติบโตที่สุด ดังนั้นพลังงานในอาหารจึงมีผลต่อความต้องการของโปรตีนด้วย ซึ่งโปรตีนมีราคาแพงกว่าคาร์โบไฮเดรตและไขมัน ทำให้การทำอาหารในทางปฏิบัติจึงต้องการให้คาร์โบไฮเดรต และไขมันเป็นแหล่งพลังงานมากกว่าโปรตีนซึ่งส่วนใหญ่ต้องการให้ถูกใช้เพื่อการเจริญเติบโต จากผลการศึกษาในปลาปลายชนิดทั้งปลากินพืช ปลากินเนื้อ ปลากินพืชและเนื้อ แสดงให้เห็นว่าสามารถทดแทนโปรตีนบางส่วนได้ด้วยคาร์โบไฮเดรตหรือไขมัน (Protein sparing action) ซึ่งหลักการปฏิบัติโดยการลดระดับโปรตีนบางส่วนในอาหารทดสอบลงแต่เพิ่มแหล่งพลังงานจากคาร์โบไฮเดรตและไขมันเข้าไปจึงนำไปให้ปลากิน ซึ่งพบว่าสามารถทำให้ปลามีอัตราการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการใช้อาหารเท่ากันหรือใกล้เคียงกับปลาที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีนสูงกว่า

ซึ่งแนวทางดังกล่าวจะมีประโยชน์อย่างมาก เพราะจะทำให้ความต้องการโปรตีนของปลารวมทั้งต้นทุนอาหารต่ำลง แต่อาจมีข้อจำกัดเกี่ยวกับปริมาณคาร์โบไฮเดรตหรือไขมันที่ผสมในอาหาร เช่น ปลากินเนื้อจะย่อยคาร์โบไฮเดรตได้ไม่ดี จึงสามารถใส่ในอาหารทดสอบได้ในปริมาณที่น้อยกว่าปลากินพืช การทดแทนโปรตีนบางส่วนด้วยไขมันส่วนใหญ่จะประสบผลสำเร็จมากกว่าการทดแทนโปรตีนบางส่วนด้วยคาร์โบไฮเดรต

5.) อัตราการให้อาหาร

เนื่องจากการประเมินความต้องการโปรตีนของปลา สามารถทราบได้จากอัตราการเจริญเติบโตเมื่อปลาได้รับปริมาณอาหารพอดีกับความต้องการ ดังนั้น ถ้าปลาได้อาหารน้อยเกินไปหรือต่ำกว่าความต้องการจะทำให้ปลาหิวและปลาจะนำโปรตีนมาใช้เป็นพลังงานมากกว่านำไปใช้เพื่อการเจริญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

40044

เติบโต จึงมีผลทำให้การประเมินความต้องการโปรตีนมีค่าผิดไปจากความจริง การศึกษาความต้องการโปรตีนของสัตว์บกทำได้ง่ายกว่าสัตว์น้ำเพราะสามารถทราบปริมาณอาหารที่เหลือหรือปริมาณที่กินเข้าไป แต่ทว่าปลาอยู่ในน้ำมีความยุ่งยากในการให้อาหารน้อยไปก็จะโตช้าแต่ถ้าให้มากไปก็ละลายน้ำ และไม่ทราบปริมาณอาหารแท้จริงที่กินเข้าไป ซึ่งนักโภชนาการอาหารปลาส่วนมากจะให้อาหารทดสอบแก่ปลาโดยมีวิธีการให้อาหารแตกต่างกันไป เช่น ให้อาหารปริมาณคงที่ (fixed feeding rate) หรือให้ในปริมาณที่ปลากินอิ่ม (satiation) ในการให้อาหารปลาในปริมาณที่คงที่จะมีความสะดวกรวดเร็วแต่อาจมีผลต่อความต้องการโปรตีนของปลาได้ถ้าให้น้อยเกินไป ซึ่งในสภาวะที่ปลาได้อาหารปริมาณคงที่ ปลาที่ได้รับอาหารปริมาณน้อย (2% ของน้ำหนักตัว/วัน) จะได้รับปริมาณโปรตีนพอดีกับความต้องการก็ต่อเมื่อได้รับอาหารที่มีปริมาณโปรตีนสูงเท่านั้นในขณะที่ปลาที่ได้รับอาหารในปริมาณมาก (4% น้ำหนักตัว/วัน) สามารถได้รับปริมาณโปรตีนเพียงพอความต้องการจากอาหารที่มีปริมาณโปรตีนต่ำกว่า ซึ่งแนวทางในการแก้ปัญหาดังกล่าวจึงควรเพิ่มจำนวนครั้งในการให้อาหารมากขึ้นหรือบ่อยครั้งขึ้น เพื่อให้ปลาได้รับปริมาณโปรตีนมากขึ้น สำหรับการให้อาหารในปริมาณที่ปลากินอิ่มจะมีข้อเสียก็คือ ระยะเวลาในการให้อาหารจะนานเรื่องจากต้องให้อาหารช้า ๆ และจะหยุดให้อาหารเมื่อปลาหยุดเกินอาหาร แต่วิธีนี้จะทำให้ปลาได้รับปริมาณอาหารพอดีกับความต้องการ ซึ่งถือว่าเป็นวิธีที่เหมาะสมในการศึกษาถึงระดับความต้องการโปรตีนของปลา

วัตถุประสงค์ในการใช้โปรตีนของสัตว์

1. เมื่อสัตว์นั้นอยู่ในวัยอ่อน สัตว์จะต้องการโปรตีนเพื่อการเจริญเติบโต ซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ สร้างฮอร์โมน เอนไซม์ที่ใช้ในร่างกายและใช้ในการหายใจ

2. เมื่อสัตว์โตเต็มวัยแล้ว จะใช้โปรตีนในการซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ สร้างสารฮอร์โมน เอนไซม์ หายใจ และสร้างองค์ประกอบในส่วนที่เกี่ยวกับการสืบพันธุ์และขยายพันธุ์

ลิปิด

สารจำเป็นที่มาจากไขมันประกอบด้วยกรดไขมันที่จำเป็นซึ่งเป็นกรดไขมันที่สัตว์น้ำสังเคราะห์เองไม่ได้และต้องได้รับจากอาหารเท่านั้น กรดไขมันดังกล่าวเรียกชื่อสั้น ๆ ว่า โอเมก้า 3 และ โอเมก้า 6 ทั้งสองมีความสำคัญในการเป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์ของสัตว์น้ำและเป็นสารต้นกำเนิดของฮอร์โมนที่สำคัญหลายชนิด (วิมล, 2537)

ลิปิดมีคุณสมบัติแตกต่างจากสารอินทรีย์อื่นๆในร่างกาย คือ ไม่ละลายน้ำแต่ละลายได้ในแอลกอฮอล์ อีเทอร์ โคโรฟอร์มและเบนซิน สารอินทรีย์พวกนี้ได้แก่ fat , oil , wax , phospholipid , glycolipid , sterols ซึ่งรวมเรียกว่า lipid มีหน้าที่คือ

1. เป็นสารที่ให้พลังงานและความร้อนแก่ร่างกาย และเป็นพลังงานที่ร่างกายเก็บสะสมไว้ ไขมันให้พลังงานมากกว่าคาร์โบไฮเดรต 2.25 เท่า

2. เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์ มีคุณสมบัติป้องกันไม่ให้สารที่ละลายได้ในไขมันซึมออกนอกเซลล์ และป้องกันไม่ให้น้ำหรือสารที่ละลายได้ในน้ำซึมผ่านเข้าเซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เป็นตัวฉนวนกันความหนาวจากภายนอก ทำให้ร่างกายอบอุ่น

4. เป็นตัวกันการกระทบกระเทือนของอวัยวะภายใน

5. ช่วยละลายและดูดซึมวิตามินบางชนิด

6. phospholipid เป็นตัวพาลิปิดอื่นๆจากลำไส้ไปที่ตับและไปยังส่วนต่างๆของร่างกาย

7. เป็นตัวให้กรดไขมันที่จำเป็นในร่างกาย

กรดไขมัน ในธรรมชาตินั้นเราสามารถที่จะแบ่งกรดไขมันได้ 2 ชนิด คือ

1. กรดไขมันอิ่มตัว

2. กรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว

ปริมาณไขมันในอาหารปลาต้องสัมพันธ์กับปริมาณโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตหรือพลังงานในการย่อยอาหาร การย่อยได้ของไขมัน และอุณหภูมิของน้ำ อุณหภูมิน้ำหรืออุณหภูมิในตัวปลาและจุดหลอมเหลวของไขมันต่างก็มีผลต่อการใช้ไขมันที่ปลากินเข้าไป จุดหลอมเหลวของไขมันมีผลต่อการย่อย จุดหลอมเหลวของไขมันที่ปลากินสูงกว่าอุณหภูมิในตัวปลา ไขมันก็จะอยู่ในรูปของแข็งเป็นก้อนที่ลำไส้ ทำให้การย่อยของไขมันเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ และการดูดซึมก็ช้า ที่อุณหภูมิสูงกว่า 20 องศาเซลเซียส ปลาเมืองร้อนสามารถที่จะใช้ไขมันที่อิ่มตัว เช่น ไขมันจากวัว อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ปลาเมืองหนาวมีประสิทธิภาพการย่อยไขมันที่อิ่มตัวต่ำมาก ปลาโดยทั่วๆ ไปมักจะเติมไขมันให้กับปลาที่เลี้ยงไว้ ในระดับ 1.5 – 4%

พลังงาน

พลังงานเป็นสารอาหารที่ใช้เพื่อดำรงชีวิต และการเจริญเติบโต พลังงานที่ใช้เพื่อการดำรงชีวิตประจำวัน เช่น การหายใจ การว่ายน้ำ เป็นต้น สัตว์น้ำเป็นต้องได้รับพลังงานในส่วนนี้เพียงพอเสียก่อนจึงจะเหลือใช้เพื่อการเจริญเติบโต โดยสารอาหารที่ให้พลังงาน ได้แก่ โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต และโดยทั่วไปปลาจะสามารถย่อยโปรตีนและไขมันได้ดี คือ ประมาณ 70-90% แต่ย่อยคาร์โบไฮเดรตได้ค่อนข้างต่ำคือประมาณ 30-60% ขึ้นอยู่กับชนิดของสัตว์น้ำ (วิมล, 2537)

วิตามิน

วิตามินเป็นโภชนาการที่สิ่งมีชีวิตต้องการเป็นปริมาณน้อยมาก แต่เป็นสิ่งที่จำเป็นต่อร่างกายเป็นตัวทำให้ปฏิกริยาทางเคมีและสรีระของร่างกายเป็นไปอย่างปกติ จากการรายงานเกี่ยวกับโรคปลาที่พบในปี 1940 - 1949 พอจะสรุปได้ว่าการขาดธาตุอาหารอาจเป็นเหตุให้เกิดโรคหรือให้โอกาสโรคเจริญเติบโตแพร่ขยายอย่างรวดเร็ว

โรคขาดวิตามินมี 2 แบบ

1. Primary deficiency เป็นโรคขาดวิตามินที่เกิดจากอาหารไม่มีโภชนาการครบตามความต้องการของปลา ปลาจะแสดงอาการภายใน 2 - 3 สัปดาห์ หรือเป็นเดือนขึ้นอยู่กับชนิดของปลา อุณหภูมิ สภาวแวดล้อมและระดับโภชนาการอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Condition deficiency เกิดกับปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีโภชนาการครบ แต่สภาวะภายนอกและภายในตัวปลาทำให้ปลาต้องการมากกว่าปกติ เช่น ปลาที่อยู่ในน้ำเสีย ซึ่งเกิดจาก Toxapheane มีความต้องการไวตามินซีมากกว่าปกติ เนื่องจากไวตามินบางส่วนถูกใช้ในการดับพิษของ Toxapheane

อาการขาดวิตามินโดยทั่วไป คือ เบื่ออาหาร , เจริญเติบโตช้า , ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อปลาต่ำและตัวสีเข้ม

วิตามินที่ละลายได้ในไขมัน ได้แก่ วิตามินเอ , วิตามินดี , วิตามินอี และวิตามินเค

วิตามินที่ละลายได้ในน้ำ ได้แก่ วิตามินบี 1 หรือไทอามิน , วิตามินบี 2 หรือไรโบเฟลวิน , วิตามินบี 6 , กรดเพนโตทินิก , ไนอาซิน , ไบโอติน , โฟลิกแอซิด , อินโนซิทอล , โคลีน , วิตามินบี 12 หรือไซยาโนโคบาลามินและวิตามินซี

วิตามินแต่ละชนิดจะมีหน้าที่และแหล่งที่พบแตกต่างกันไป แต่ในการผลิตอาหารเลี้ยงอาจใช้วิตามินจากการสังเคราะห์เพื่อความครบถ้วนและความสะดวก

วิตามินเป็นสารอินทรีย์ที่สัตว์น้ำต้องการในปริมาณน้อย แต่มีความสำคัญเพื่อให้การทำงานของร่างกายเป็นไปอย่างปกติ วิตามินที่จำเป็นต่อสัตว์น้ำมีทั้งหมด 15 ชนิด เป็นวิตามินที่ละลายได้ในน้ำ 11 ชนิด และละลายได้ในไขมันอีก 4 ชนิด หน้าที่หลักของวิตามินชนิดต่างๆ ได้เสนอไว้ในตารางที่ 2 สัตว์น้ำต้องการวิตามินชนิดต่างๆ แตกต่างกันไปซึ่งในตารางที่ 3 ได้แสดงปริมาณวิตามินต่าง ๆ ที่ใช้ได้กับสัตว์น้ำทุกชนิด เพราะได้คำนวณปริมาณเผื่อไว้สำหรับความผันแปรระหว่างชนิดสัตว์น้ำไว้แล้ว

ตารางที่ 2.4 แสดงหน้าที่หลักของวิตามินชนิดต่าง ๆ ในอาหารสัตว์น้ำ

วิตามิน	หน้าที่หลัก
ไทอะมิน	ร่วมในปฏิกริยาการสันดาปคาร์โบไฮเดรต
ไรโบเฟลวิน	ร่วมในปฏิกริยาการหายใจของเนื้อเยื่อที่เส้นเลือดไปเลี้ยงน้อย
ไพรีดอกซิน	ร่วมในปฏิกริยาการสันดาปโปรตีนให้เป็น ATP
กรดแพนโทธินิค	ร่วมในปฏิกริยาการสันดาปโปรตีน/ไขมัน/คาร์โบไฮเดรต-สำหรับเนื้อเยื่อที่มีการหายในสูง
ไนอาซิน	ร่วมในปฏิกริยาถ่ายอิเล็กตรอน
ไบโอติน	ร่วมในปฏิกริยาถ่ายเท คาร์บอนไดออกไซด์
กรดโฟลิค	เกี่ยวกับการสร้างเม็ดเลือดแดง
วิตามินบี –12	เกี่ยวกับการสร้างเม็ดเลือดแดง
วิตามินซี	เกี่ยวกับการสร้างโปรตีนคอลลาเจน/เม็ดเลือดแดง/ภูมิคุ้มกัน
โคลีน	เป็นองค์ประกอบของเซลล์-ลำเลียงไขมัน
อินอสซิทอล	เป็นองค์ประกอบของเซลล์/กาวยึดเซลล์เข้าด้วยกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิตามิน	หน้าที่หลัก
วิตามิน เอ	จำเป็นต่อการมองเห็น
วิตามิน ดี	จำเป็นต่อการสร้างกระดูก
วิตามิน ดี	จำเป็นเพื่อคงสภาพของเซลล์เมมเบรน
วิตามิน เค	จำเป็นต่อการแข็งตัวของเลือก

ที่มา : วิมล (2537)

ตารางที่ 2.5 แสดงปริมาณวิตามินชนิดต่างๆ ที่แนะนำให้ใส่ในอาหารสัตว์น้ำ (มก. หรือ IU ต่อกิโลกรัมของอาหาร)

วิตามิน	(1) + 30%	(2) + สูญเสีย	(3) + แก้เครียด	(5) ปริมาณสูงสุด
A (IU)	3,250	5,375	8,625	25,000
D	2,340	3,042	5,382	18,000
E	39	46	76	3,000
K (mg)	5	6	10	4,000
C	130	360	460	10,000
ไทอะมิน	13	25	35	10,000
ไรโบเฟลวิน	26	31	51	400
ไพลีดอกซิน	13	15	25	20,000
กรดแพนโทธินิค	52	61	101	800
ไบโอติน	1	1.4	2.4	100
ไนอะซิน	195	230	380	3,000
กรดโพลิค	7	9	14	-
วิตามินบี – 12	0.02	0.03	0.05	-
โคลีน	4,000	4,400	7,400	12,000
อินอสซทอล	520	620	1,010	-

หมายเหตุ : (1)ปริมาณที่ใช้สำหรับทุกชนิด(เผื่อไว้ 30% สำหรับความผันแปรระหว่างชนิดสัตว์น้ำ)

(2)ปริมาณที่ใช้เผื่อป้องกันการสูญเสีย

(3)ปริมาณที่ใช้เผื่อป้องกันความเครียด

(4)ปริมาณสูงสุดที่สัตว์น้ำทนได้

ที่มา : วิมล (2537)

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แร่ธาตุ

สัตว์น้ำต้องการแร่ธาตุเพื่อการเจริญเติบโตและให้กิจกรรมต่างๆ ภายในร่างกายดำเนินไปอย่างปกติ (ตารางที่ 4) สัตว์น้ำสามารถดูดซึมแร่ธาตุจากน้ำได้ทางเหงือก การดูดซึมแร่ธาตุจากน้ำเป็นขบวนการที่เป็นสำหรับการจัดระบบสมดุลของแร่ธาตุภายในร่างกายและเป็นในแง่เป็นโภชนาการ ด้วยแร่ธาตุที่สัตว์น้ำดูดซึมได้จากน้ำมักไม่เพียงพอต่อความต้องการ จึงจำเป็นต้องมีในอาหาร

ตารางที่ 2.6 แสดงหน้าที่หลักของแร่ธาตุชนิดต่าง ๆ ที่สัตว์น้ำต้องการ

แร่ธาตุ	หน้าที่หลัก
แคลเซียม	สร้างกระดูก
ฟอสฟอรัส	สร้างกระดูก
แมกนีเซียม	สร้างกระดูก
เหล็ก	องค์ประกอบของเม็ดเลือดแดง
ไอโอดีน	ป้องกันคอหอยพอก
เซลิเนียม	จำเป็นต่อการคงสภาพของเซลล์เมมเบรน
สังกะสี	เป็นองค์ประกอบสำคัญของเอนไซม์ย่อยโปรตีนและคาร์โบไฮเดรต
ทองแดง	จำเป็นต่อการสร้างเม็ดเลือดแดงองค์ประกอบของเลือดกุ้งและปู
แมงกานีส	องค์ประกอบของเอนไซม์ย่อยโปรตีน ไขมันและคาร์โบไฮเดรต
โคบอลท์	จำเป็นต่อการสร้างวิตามินบี –12

ที่มา : วิมล (2537)

แร่ธาตุเป็นอาหารที่สำคัญอย่างหนึ่ง ความต้องการแร่ธาตุของปลาก็เพื่อใช้ในการสร้างเนื้อเยื่อต่างๆ นำไปเป็นโครงสร้างของร่างกายตลอดจนใช้ในระบบการจัดสมดุล เกี่ยวกับการดูดซึมของเหลวในตัวปลากับน้ำที่ล้อมรอบตัวปลา ปลามีคุณสมบัติพิเศษที่แตกต่างกับสัตว์ชนิดอื่นๆ คือสามารถดูดซึมแร่ธาตุหลายชนิดในน้ำเข้าสู่ร่างกายโดยผ่านทางเหงือก แต่ปริมาณที่ปลาได้รับจากน้ำนั้นไม่เพียงพอกับความต้องการของปลาโดยเฉพาะปลาน้ำจืดซึ่งในน้ำจืดมีแร่ธาตุต่างๆ น้อยกว่าน้ำเค็ม การที่ปลาสามารถดูดซึมแร่ธาตุจากน้ำไปใช้ได้ ทำให้ยากแก่การกำหนดปริมาณความต้องการเพื่อใช้เป็นโครงสร้าง องค์ประกอบของเนื้อเยื่อ ตลอดจนการจัดสมดุลการดูดซึมของเหลวในตัวปลา

แร่ธาตุที่ถือว่าจำเป็นสำหรับปลาและควรใช้ผสมลงในอาหารเลี้ยงปลาอาจแบ่งเป็น 2 พวกใหญ่ๆ คือ พวกที่ปลาต้องการปริมาณมากหรือแร่ธาตุหลัก (Macro mineral) และพวกที่ปลาต้องการปริมาณน้อยหรือแร่ธาตุรอง (Trace mineral)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แร่ธาตุหลัก ได้แก่ Calcium , Phosphorus , Sodium , Chlorine , Potasium , Sulfur และ Magnesium

แร่ธาตุรอง ได้แก่ Iron , Copper , Manganese , Cobalt , Selenium , Iodine และ Zinc

นอกจากธาตุอาหารปลาที่มีความสำคัญต่อการเจริญของปลาแล้ว คุณภาพน้ำก็มีผลต่อสุขภาพและการดำรงชีวิตของปลาด้วย แต่ไม่สามารถกำหนดเป็นกฎเกณฑ์ที่จะทำให้เลี้ยงปลาได้ผลผลิตสูงสุดอย่างแน่นอนได้ เนื่องจากขึ้นกับปัจจัยอีกหลายอย่าง เช่น ชนิดของปลา สถานที่ทำบ่อและสภาพภูมิประเทศ และปัจจัยอื่นๆ อีกมากมาย ลักษณะหนึ่งที่สามารถบ่งชี้ถึงคุณสมบัติของน้ำได้ คือ ปริมาณสาหร่ายสีเขียว (green algae) ถ้ามีมากเกินไปจนน้ำมีสีเขียวเข้มมาก จะแสดงให้เห็นว่าน้ำมีคุณสมบัติไม่เหมาะสม การเกิดสาหร่ายสีเขียวมากเกินไปจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติบางประการ เช่น ปริมาณออกซิเจนละลาย (dissolved oxygen) และความเป็นกรดด่าง (pH)

น้ำที่มีคุณสมบัติเหมาะสมต่อการเลี้ยงปลาควรมีปริมาณออกซิเจนละลายไม่ต่ำกว่า 2 - 3 mg/L ในช่วงเช้า หรือระหว่างเวลาที่มีปริมาณออกซิเจนละลายลดลงต่ำสุดในรอบวัน ส่วนปริมาณสูงสุดไม่ควรมากกว่า 2 - 3 เท่า ของระดับต่ำสุด ค่า pH ควรอยู่ในช่วง 6.5 - 8.5 ค่าสูงสุดไม่ควรเกิน 1.0 หน่วยของค่าต่ำสุด

ตารางที่ 2.7 แสดงปริมาณสารอาหารที่สัตว์น้ำต้องการ

ชนิดของสารอาหาร	ความต้องการ (%)
โปรตีน	29 – 30
ไขมัน	8 – 9
คาร์โบไฮเดรต	50
พลังงาน	370 กิโลแคลอรี่/อาหาร 100 กรัม
วิตามินและแร่ธาตุ	0.5

2.8 คุณภาพของน้ำในบ่อปลา

คุณภาพของน้ำในบ่อปลาเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการเจริญเติบโต การเกิดโรคและปรสิต การผสมพันธุ์วางไข่ และการตายของปลา ถ้าปลาได้อาศัยอยู่ในน้ำซึ่งมีคุณภาพดีมีความเหมาะสมต่อชนิดและขนาดของปลา ก็จะทำให้ปลาดำเนินชีวิตได้อย่างเป็นปกติ เจริญเติบโตดี ปราศจากโรคและปรสิต ดังนั้น การเลี้ยงปลาเพื่อมุ่งหวังจะให้มีประสิทธิภาพการผลิตสูงนั้นควรคำนึงถึงการจัดการให้น้ำในบ่อปลามีคุณภาพดี และมีความเหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของปลาเป็นสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำ

อุณหภูมิ

แสงแดดที่ส่องกระทบพื้นผิวน้ำ แบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ แสงแดดที่มาจากดวงอาทิตย์โดยตรงกับแสงสะท้อน ซึ่งเป็นแสงแดดที่ส่องกระทบสิ่งเจือปนในบรรยากาศ แล้วสะท้อนลงสู่พื้นผิวน้ำ แสงเมื่อตกกระทบผิวน้ำ ส่วนหนึ่งจะส่องทะลุผ่านลงไปในน้ำ ถ้าผิวน้ำเรียบและมุมที่แสงทำกับผิวน้ำแคบแสงจะส่องผ่านลงไปได้ลึก แสงอีกส่วนหนึ่งจะสะท้อนกลับ ปริมาณของแสงที่สะท้อนกลับนี้ขึ้นอยู่กับมุมที่แสงตกกระทบกับผิวน้ำ ชนิดของแสง ลักษณะของพื้นผิวน้ำ และสภาพของท้องฟ้า แสงส่วนที่ส่องผ่านลงไปในน้ำ ส่วนมากถูกดูดกลืนโดยน้ำ ส่วนที่เหลือจะแพร่กระจายในน้ำ แสงส่วนที่ถูกดูดกลืนจะเปลี่ยนรูปจากพลังงานแสงเป็นพลังงานความร้อน พลังงานความร้อนเมื่อสะสมอยู่ในน้ำมากพอก็จะทำให้น้ำร้อนขึ้นหรืออุณหภูมิสูงขึ้น และลมจะทำให้เกิดคลื่นน้ำซึ่งช่วยให้ความร้อนที่น้ำดูดกลืนไว้กระจายไปทั่วบ่อ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำในบ่อปลาเกิดจากหลายสาเหตุ เช่น ปริมาณแสงแดดที่ได้รับการถ่ายเทน้ำ ฤดูกาล สภาพภูมิอากาศ เป็นต้น อุณหภูมิน้ำมีความสำคัญต่อระบบนิเวศน์ของบ่อเลี้ยงปลา ซึ่งมีผลกระทบต่อชีวิตความเป็นอยู่ของปลาในบ่อทั้งโดยทางตรงและทางอ้อม เพราะว่าอุณหภูมิน้ำมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับกระบวนการทางกายภาพ เคมีและชีวภาพหลายอย่าง อาทิเช่น ความอดทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้ำของปลาจะขึ้นอยู่กับชนิด ขนาดและอายุของปลา ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ความคุ้นเคยของปลาและมลภาวะของน้ำ เป็นต้น โดยทั่วไปลูกปลาและปลาขนาดใหญ่สามารถอดทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้ำได้ในช่วงกว้างกว่าตัวอ่อน อุณหภูมิมีอิทธิพลต่อการเกิดโรคและปรสิตของปลาและยังเกี่ยวข้องกับการสร้างภูมิคุ้มกันของปลาอีกด้วย นอกจากนี้ อุณหภูมิยังมีอิทธิพลต่อการละลายของก๊าซชนิดต่างๆ ในน้ำอีกด้วย เช่น ก๊าซออกซิเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จะละลายน้ำได้มากขึ้นเมื่ออุณหภูมิของน้ำลดต่ำลงและอุณหภูมิมีอิทธิพลต่อการเน่าสลายของสารอินทรียสาร การละลายของเกลือแร่ในน้ำ สิ่งมีชีวิตอื่นๆ ซึ่งเป็นอาหารของปลา เป็นต้น

สี

สีของน้ำที่มองเห็นเป็นสีที่ไม่ดูดซึม ซึ่งเป็นส่วนเหลือจากแสงที่ส่องลงน้ำ น้ำบริสุทธิ์จริงๆ จะดูดซึมองค์ประกอบของแสงได้ทั้งหมด ดังนั้น น้ำบริสุทธิ์จึงไม่มีสี ส่วนน้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติทั่วไปที่เห็นเป็นสีต่างๆ นั้น ก็ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของแต่ละแหล่งน้ำ

สีของน้ำ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. สีจริง (True Color) เป็นสีของน้ำซึ่งเกิดจากสารละลายชนิดต่างๆ ที่อยู่ในน้ำ สารที่ละลายในน้ำอาจเป็นสารอินทรีย์ เช่น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เป็นต้น หรือเป็นสารอนินทรีย์ เช่น แร่ธาตุต่างๆ สิ่งเหล่านี้ทำให้น้ำเกิดสีต่างๆ

2. สีปรากฏ (Apparent Color) เป็นสีที่เกิดจากการสะท้อนของแสงจากพื้นก้นแหล่งน้ำ ท้องฟ้า สารแขวนลอยในน้ำ สิ่งมีชีวิตที่อยู่ในน้ำ เช่น แพลงค์ตอนพืช แพลงค์ตอนสัตว์ ฯลฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สีของน้ำเป็นสิ่งที่ใช้ประเมินค่ากำลังผลิตและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำได้บ้างอย่างคร่าวๆ เช่น น้ำที่มีหินปูนหรือแคลเซียมคาร์บอเนตปะปนอยู่จะมีสีเขียวอ่อน เฟอร์ริคไฮดรอกไซด์ทำให้น้ำมีสีแดง สารพวกกำมะถันทำให้น้ำมีสีเขียวอมเหลือง ไดอะตอมทำให้เกิดสีค่อนข้างเหลืองหรือเหลืองอมน้ำตาล สาหร่ายสีน้ำตาลทำให้น้ำมีสีเขียวเข้ม แพลงค์ตอนสัตว์พวกกุ้งปูเล็กๆ (Microcrustaceans) ทำให้น้ำมีสีแดง ฮิวมัสทำให้น้ำมีสีน้ำตาลอมเหลือง โดยทั่วไปแหล่งน้ำที่มีความอุดมสมบูรณ์และกำลังผลิตสูงเพราะว่ามีปริมาณสารอินทรีย์มากจะมีสีเหลืองหรือสีน้ำตาล ส่วนแหล่งน้ำที่มีกำลังผลิตต่ำเพราะว่ามีปริมาณสารอินทรีย์น้อยจะมีสีน้ำเงินหรือสีค่อนไปทางเขียว ทั้งนี้ไม่ได้พิจารณาเกี่ยวกับปริมาณแพลงค์ตอนพืชที่ทำให้น้ำมีสีเขียวด้วย สำหรับน้ำที่เหมาะสมจะใช้เลี้ยงปลานั้น ควรมีสีค่อนข้างเขียวหรือน้ำเงินอ่อน น้ำในบ่อปลาที่มีสีเหลืองหรือน้ำตาลนั้นส่วนใหญ่จะมีฤทธิ์เป็นกรดและมีค่าความเป็นด่างต่ำ ไม่เหมาะสำหรับใช้เลี้ยงปลา (Huet, 1979)

ความขุ่น (Turbidity)

ความขุ่นของน้ำเกิดจากปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมดที่มีอยู่ในน้ำซึ่งคอยกีดขวางการส่องผ่านของแสง สารแขวนลอยดังกล่าว ได้แก่ แพลงค์ตอนพืช แพลงค์ตอนสัตว์ อนุภาคของดิน อนุภาคของทราย แบคทีเรีย แร่ธาตุต่างๆ ฯลฯ ความขุ่นของน้ำซึ่งเกิดจากแพลงค์ตอนพืชแพลงค์ตอนสัตว์เป็นที่ต้องการสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ส่วนอนุภาคของดินอนุภาคของทรายมักจะทำให้เกิดความเสียหายแก่สิ่งมีชีวิตในน้ำ น้ำที่มีความขุ่นมาก ทำให้แสงสว่างส่องลงไปได้ไม่ลึก การสังเคราะห์แสงของพืชลดลง ทำให้กำลังผลิตขั้นต้น (Primary Productivity) ของแหล่งน้ำลดลง มีผลให้ปริมาณอาหารธรรมชาติของสัตว์น้ำลดลงด้วย สารแขวนลอยที่ทำให้เกิดความขุ่นสามารถทำอันตรายต่อสัตว์น้ำโดยตรง โดยตะกอนและสารแขวนลอยจะเข้าไปอุดช่องเหงือกทำให้การหายใจติดขัดเกิดอุปสรรคในการแลกเปลี่ยนก๊าซ นอกจากนี้สารแขวนลอยยังทำให้การเจริญเติบโตของสัตว์น้ำช้ากว่าปกติ การฟักไข่หยุดชะงักหรือช้าลง การตรวจหาความขุ่นของน้ำกระทำได้โดยใช้เครื่องมือวัด เช่น ใช้เครื่อง Spectrophotometer หรือหาน้ำหนักของสารแขวนลอยและของแข็งในน้ำโดยวิธีการระเหยน้ำให้แห้งหรือวัดความโปร่งแสง (Transparency) โดยใช้ Secchi Disc แหล่งน้ำที่ให้ผลผลิตทางการประมงที่ดีควรจะมีค่าปริมาณสารแขวนลอยอยู่ในช่วงระหว่าง 25 – 80 มิลลิกรัม/ลิตร แต่ถ้าอยู่ในช่วงระหว่าง 80 – 400 มิลลิกรัม/ลิตร ผลผลิตจะลดลงและถ้ามากกว่า 400 มิลลิกรัม/ลิตรขึ้นไปทำให้การเลี้ยงปลาไม่ได้ผล แหล่งน้ำมีค่าความโปร่งแสงอยู่ในระหว่าง 30 – 60 เซนติเมตรเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ ค่าความโปร่งแสงต่ำกว่า 30 เซนติเมตรแสดงว่าน้ำขุ่นมากเกินไปหรือมีปริมาณแพลงค์ตอนมากเกินไป ซึ่งอาจจะทำให้ขาดแคลนออกซิเจนได้ ถ้าความโปร่งแสงมีค่าสูงกว่า 60 เซนติเมตรขึ้นไปแสดงว่าแหล่งน้ำนั้นไม่ค่อยอุดมสมบูรณ์ (ไมตรี และจารุวรรณ , 2528)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติทางเคมีของน้ำ

ออกซิเจน

ปลาใช้ออกซิเจนที่ละลายในน้ำเพื่อการหายใจ ดังนั้นปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำจึงมีผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของปลาในด้านต่างๆ ได้แก่ การเจริญเติบโต การตาย การเผาผลาญอาหารในร่างกาย การกินอาหาร ความต้านทานต่อโรค พฤติกรรมของปลา เป็นต้น อัตราการใช้ออกซิเจนของปลาแตกต่างกันตามชนิด ขนาด ระยะต่างๆ ในช่วงชีวิต พฤติกรรมของปลา เช่น การกินอาหาร การสืบพันธุ์ การเคลื่อนไหว เป็นต้น และสภาพแวดล้อมที่ปลาอาศัยอยู่ เช่น อุณหภูมิ ปลาจะใช้ออกซิเจนมากขึ้นตามอุณหภูมิของน้ำที่สูงขึ้น ทั้งนี้เพราะว่าอุณหภูมิสูงขึ้นทำให้อัตราการเผาผลาญอาหารในร่างกายของปลาสูงขึ้น ปลาจึงกินอาหารมากขึ้น โดยทั่วไปปลาขนาดเล็กใช้ออกซิเจนต่อหน่วยน้ำหนักมากกว่าปลาขนาดใหญ่ และปลาอ้วนมีอัตราการใช้ออกซิเจนสูงกว่าปลาผอม (Moss และ Scott, 1964) อัตราการใช้ออกซิเจนของปลาที่เคลื่อนที่จะสูงกว่าปลาที่อยู่นิ่ง เมื่อปลาเคลื่อนที่เร็วขึ้นจะใช้ออกซิเจนมากขึ้น เช่น ปลานิลว่ายน้ำด้วยความเร็ว 30 เซนติเมตร/วินาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีอัตราการใช้ออกซิเจน 220 มิลลิกรัม/กิโลกรัม/ชั่วโมง เมื่อว่ายน้ำด้วยความเร็ว 60 เซนติเมตร/วินาที จะมีอัตราการใช้ออกซิเจนเป็น 460 มิลลิกรัม/กิโลกรัม/ชั่วโมง (Farmer และ Beamish 1969) ปลาจะกินอาหารน้อยลงเมื่อปริมาณออกซิเจนในน้ำลดต่ำลงซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ปลาเจริญเติบโตช้าเมื่ออาศัยอยู่ในน้ำที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ การใช้ออกซิเจนของปลาหลังจากกินอาหารจะมีอัตราสูงกว่าเมื่อปลายังไม่ได้กินอาหารเนื่องจากปลาต้องใช้พลังงานเพิ่มขึ้นในกระบวนการย่อยอาหาร ระดับต่ำสุดของออกซิเจนที่ทำให้ปลาชนิดต่างๆ ตายจะแตกต่างกัน ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำต่ำสุดสำหรับปลานิลคือ 0.8 – 1.2 มิลลิกรัม/ลิตร

น้ำในบ่อปลาส่วนใหญ่ได้รับออกซิเจนจากการสังเคราะห์แสงของพืชในน้ำและจากการที่ออกซิเจนในอากาศละลายปนกับน้ำ แต่ปริมาณออกซิเจนที่ได้รับจากการสังเคราะห์แสงสูงกว่าปริมาณที่ได้รับจากอากาศ ดังนั้นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงย่อมมีผลกระทบต่อปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำด้วย ปัจจัยที่ควบคุมการสังเคราะห์แสง ได้แก่ อุณหภูมิ แสงแดด ธาตุอาหาร ชนิดของพืช ปริมาณพืช เป็นต้น นอกจากนี้ ยังมีปัจจัยอื่นที่ควบคุมให้น้ำในบ่อปลารับออกซิเจนทั้งที่มาจากอากาศและจากการสังเคราะห์แสงได้ในปริมาณที่จำกัดอีกด้วย

ปัจจัยที่จำกัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำในบ่อปลา ได้แก่

1. *อุณหภูมิ* ที่ความดันบรรยากาศเดียวกันการละลายของออกซิเจนปนกับน้ำที่อุณหภูมิต่ำมีมากกว่าที่อุณหภูมิสูง

2. *ความดันอากาศ* ที่อุณหภูมิเดียวกัน ออกซิเจนสามารถละลายปนกับน้ำได้ที่ความดันอากาศสูงมากกว่าที่ความดันอากาศต่ำ

3. *ความเค็ม* ออกซิเจนละลายปนกับน้ำได้น้อยลงถ้าความเค็มของน้ำเพิ่มขึ้น การละลายของออกซิเจนลดลงประมาณ 5% ต่อความเค็มของน้ำที่เพิ่มขึ้น 9,000 มิลลิกรัม/ลิตร (Boyd, 1981) อย่างไรก็ตาม สำหรับน้ำจืดอิทธิพลของความเค็มถือเป็นสิ่งเล็กน้อยมากต่อการละลายของออกซิเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. *พื้นที่ผิวน้ำ* การถ่ายเทออกซิเจนระหว่างน้ำและอากาศเกิดขึ้นตลอดเวลา โดยอาศัยหลักการคืออกซิเจนในอากาศสัมผัสกับผิวน้ำและซึมละลายปนกับน้ำ ส่วนออกซิเจนในน้ำจะแพร่ขึ้นสู่อากาศ ดังนั้นถ้าพื้นที่ผิวน้ำมากโอกาสที่น้ำจะได้รับออกซิเจนจากอากาศก็มากตามไปด้วย นอกจากนี้ลมยังเป็นกลไกสำคัญที่ทำให้น้ำเกิดคลื่นซึ่งเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวน้ำให้มากขึ้นอีก ฉะนั้นในเวลากลางคืนที่มีลมแรงน้ำในบ่อปลาจึงไม่ขาดแคลนออกซิเจน

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำในบ่อปลาลดลงเนื่องจาก

1. *การหายใจ* แพลงค์ตอนพืชและพืชน้ำสังเคราะห์แสงในเวลากลางวัน ผลจากกระบวนการสังเคราะห์แสงคือน้ำได้รับออกซิเจน แต่แพลงค์ตอนพืช พืชน้ำ แพลงค์ตอนสัตว์ ปลา และสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ในน้ำใช้ออกซิเจนเพื่อการหายใจทั้งในเวลากลางวันและกลางคืน ปริมาณออกซิเจนในน้ำในบ่อปลาจะลดลงในเวลากลางคืน เพราะว่าไม่มีกระบวนการสังเคราะห์แสงเกิดขึ้น น้ำในบ่อปลาได้รับออกซิเจนจากอากาศที่ละลายปนกับน้ำเท่านั้น แต่มีการใช้ออกซิเจนปริมาณมาก

2. *การย่อยสลายอินทรียสาร* แบคทีเรียใช้ออกซิเจนเพื่อการย่อยสลายอินทรียสารทั้งในเวลากลางวันและกลางคืน กระบวนการย่อยสลายจะเกิดขึ้นมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณอินทรียสาร ปริมาณของแบคทีเรียและอุณหภูมิ ถ้าหากอินทรียสารย่อยง่ายและมีปริมาณมาก อุณหภูมิสูงและมีแบคทีเรียจำนวนมาก การใช้ออกซิเจนเพื่อการย่อยสลายอินทรียสารก็จะมากตามไปด้วย ปริมาณออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ในการย่อยสลายเพื่อการดำรงชีวิต เรียกว่า Biochemical Oxygen Demand (BOD)

3. *การย่อยสลายอินทรียสารในบ่อปลา* นอกจากจะมีแบคทีเรียที่ใช้อินทรียสารเป็นอาหาร (Saprophytic Bacteria) แล้ว ยังมีแบคทีเรียซึ่งใช้อนินทรียสารเป็นอาหาร (Autotrophic Bacteria) ผลที่เกิดขึ้นหลังจากแบคทีเรียกลุ่มที่ใช้อินทรียสารเป็นอาหารใช้ออกซิเจนเพื่อย่อยสลายอินทรียสารคือ ไนโตรเจนในรูปแอมโมเนีย ต่อจากนั้นแบคทีเรียกลุ่มที่ใช้อนินทรียสารเป็นอาหารจะใช้ออกซิเจนในกระบวนการย่อยสลายไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียให้เป็นไนไตรต์และไนเตรตต่อไป (ดังสมการ) ปัญหาการขาดแคลนออกซิเจนในบ่อปลาจนถึงขั้นเป็นอันตรายต่อปลานั้นมักเกิดจากการใช้ออกซิเจนของแบคทีเรียกลุ่มที่ใช้อนินทรียสารเป็นอาหารมากกว่าแบคทีเรียกลุ่มที่ใช้อินทรียสารเป็นอาหาร

$$2NH_3 + 3O_2 \longrightarrow 2NO_2^- + 2H^+ + 2H_2O$$

$$2NO_2^- + O_2 \longrightarrow 2NO_3^-$$

4. *กระบวนการทางเคมีของสารประกอบหรือแร่ธาตุต่างๆ* ในบ่อปลาที่มีอินทรียสารมากเกินไป ซึ่งอาจเกิดจากการได้รับอินทรียสารที่ติดมากับน้ำภายนอก หรือเกิดจากการที่แพลงค์ตอนพืช แพลงค์ตอนสัตว์และพืชน้ำตายลงอย่างกระทันหันเป็นจำนวนมาก ในสภาพเช่นนี้นอกจากออกซิเจนจะถูกใช้โดยแบคทีเรียเพื่อย่อยสลายอินทรียสารแล้ว ออกซิเจนยังถูกใช้ในกระบวนการสลายอินทรียสารโดยตรง ออกซิเจนที่ถูกใช้ไปในกระบวนการย่อยสลายอินทรียสารซึ่งใช้ออกซิเจนโดยตรงซึ่งไม่ผ่านแบคทีเรียเรียกว่า Chemical Oxygen Demand (COD) กระบวนการนี้มักจะใช้ออกซิเจนในปริมาณมากกว่ากระบวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การย่อยสลายอินทรียสารโดยแบคทีเรีย ฉะนั้น การขาดแคลนออกซิเจนในลักษณะเช่นนี้จึงรุนแรง ซึ่งอาจทำให้ปริมาณออกซิเจนในบ่อปลาลดต่ำลงจนถึงขั้นไม่เหลืออยู่เลยเป็นเวลาหลายวันติดต่อกันได้

5. *การหมุนเวียนของน้ำหรือการผสมกับน้ำที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ* น้ำที่มีปริมาณออกซิเจนละลายอยู่ต่ำ ได้แก่ น้ำบาดาล ซึ่งมักมีสารประกอบ $Fe(HCO_3)_2$ และ $Mn(HCO_3)_2$ ซึ่งจะทำปฏิกริยากับออกซิเจนในน้ำ ทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และทำให้น้ำสูญเสียปริมาณออกซิเจนไป ดังนั้นเมื่อเติมน้ำบาดาลลงในบ่อปลาจึงทำให้ปริมาณออกซิเจนในบ่อปลาลดลง

$$4Fe(HCO_3)_2 + 2H_2O + O_2 \longrightarrow 4Fe(OH)_3 + 8CO_2$$

$$4Mn(HCO_3)_2 + 2H_2O + O_2 \longrightarrow 4Fe(OH)_3 + 8CO_2$$

น้ำในบ่อปลาส่วนใหญ่ได้รับออกซิเจนจากการสังเคราะห์แสงของแพลงค์ตอนพืช ออกซิเจนถูกใช้ไปเพื่อการหายใจของสิ่งมีชีวิตและกระบวนการย่อยสลายอินทรียสารอยู่ตลอดเวลา ในเวลากลางวันปริมาณออกซิเจนที่เกิดจากกระบวนการสังเคราะห์แสงผลิตได้เร็วกว่าการใช้ออกซิเจนเพื่อการหายใจและย่อยสลายอินทรียสาร ดังนั้นปริมาณออกซิเจนในน้ำจึงยังคงมีเหลืออยู่ ในเวลากลางคืนน้ำได้รับออกซิเจนจากการที่ออกซิเจนในอากาศละลายปนกับน้ำเท่านั้น ฉะนั้นปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำจึงลดลงในเวลากลางคืน สำหรับบ่อปลาที่มีแพลงค์ตอนพืชปริมาณหนาแน่น ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำอาจจะเหลือน้อยหรือไม่มีเลยในช่วงกลางคืน เป็นสาเหตุทำให้ปลาตายได้และการขาดออกซิเจนที่ละลายในน้ำจะรุนแรงยิ่งขึ้นในคืนลมสงบ น้ำในบ่อปลาที่มีธาตุอาหารสูงจะเกิดแพลงค์ตอนพืชขึ้นเป็นจำนวนมาก และเป็นตัวจำกัดการส่องผ่านของแสงแดด มีผลทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงแตกต่างกันตามระดับความลึกของบ่อปลา ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของปริมาณออกซิเจนในน้ำเนื่องจากการสังเคราะห์แสงของแพลงค์ตอนพืชจึงมีมากตามบริเวณใกล้ผิวน้ำ ซึ่งอาจมีปริมาณมากกว่าจุดอิ่มตัวด้วยออกซิเจนและลดลงตามระดับความลึกของน้ำเพราะว่าการบดบังแสง ปริมาณออกซิเจนในวันที่มีอากาศมืดครึ้มจะต่ำกว่าในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส เนื่องจากอิทธิพลความเข้มของแสงที่มีต่อการสังเคราะห์แสง ถ้าหากท้องฟ้ามีอากาศมืดครึ้มติดต่อกันหลายวัน ปริมาณออกซิเจนในน้ำจะลดต่ำลงเรื่อยๆ จนถึงขึ้นเป็นอันตรายต่อปลา การแก้ไขปัญหาการขาดแคลนออกซิเจนในบ่อปลาในระยะสั้นกระทำได้โดยใช้เครื่องมือพ่นน้ำให้เป็นฝอยกระจายเพื่อทำให้ออกซิเจนในอากาศสัมผัสกับผิวน้ำและละลายปนกับน้ำได้มากขึ้น ส่วนการป้องกันปัญหาการขาดแคลนออกซิเจนในบ่อปลาในระยะยาวนั้นคือต้องควบคุมปริมาณแพลงค์ตอนพืชไม่ให้มีมากจนเกินไป

คาร์บอนไดออกไซด์

ในน้ำที่มีระดับความเข้มข้นของปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สูง ทำให้ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนออกซิเจนของปลาและสัตว์น้ำอื่นๆ ลดลง และถ้าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำอยู่ในระดับสูงมากๆ ก็อาจทำให้ปลาและสัตว์น้ำอื่นๆ ไม่สามารถแลกเปลี่ยนออกซิเจนได้ถึงแม้ว่าในแหล่งน้ำนั้นจะมีปริมาณออกซิเจนอยู่อย่างเพียงพอ ปลาส่วนใหญ่สามารถรู้สึกต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำได้ดี จึงหลีกหนีไม่อาศัยอยู่ในน้ำบริเวณที่มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คาร์บอนไดออกไซด์มีขีดความสามารถในการละลายน้ำได้สูงกว่าออกซิเจนถึง 200 เท่า ในบรรยากาศโดยปกติมีคาร์บอนไดออกไซด์ ประกอบอยู่ประมาณ 0.04% โดยปริมาตร น้ำได้รับคาร์บอนไดออกไซด์จากหลายแหล่งด้วยกัน คือ เริ่มตั้งแต่คาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศละลายปนกับน้ำฝนในขณะฝนตก เมื่อน้ำฝนตกลงสู่ พื้นดินแล้วน้ำฝนจะไหลผ่านอากาศที่ขังอยู่ในโพรงดินโดยเฉพาะในดินชั้นฮิวมัสมีคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าในบรรยากาศ เนื่องจากได้รับคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจของรากพืชและสิ่งมีชีวิตเล็กๆ ดังนั้นเมื่อน้ำฝนสัมผัสกับอากาศที่อยู่ในโพรงดิน คาร์บอนไดออกไซด์จึงมีโอกาสสัมผัสกับน้ำและละลายปนกับน้ำได้มากขึ้น นอกจากนี้คาร์บอนไดออกไซด์ที่พบในน้ำยังได้มาจากกระบวนการต่างๆอีกหลายอย่าง อาทิเช่น กระบวนการย่อยสลายของสารอินทรียสาร กระบวนการหายใจของพืชและสัตว์โดยเฉพาะพืชจะให้คาร์บอนไดออกไซด์มากในเวลากลางคืนกระบวนการทางเคมีบางอย่าง เช่น กรดทำปฏิกิริยากับสารประกอบคาร์บอเนต หรือสารประกอบไบคาร์บอเนต เป็นต้น

ความสามารถในการละลายปนกับน้ำของคาร์บอนไดออกไซด์ ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ละลายน้ำได้มากขึ้นเมื่ออุณหภูมิของน้ำลดลง คาร์บอนไดออกไซด์ละลายในน้ำได้มากขึ้นเมื่อความดันของบรรยากาศเพิ่มขึ้น และถ้าพื้นที่ผิวน้ำมากขึ้นคาร์บอนไดออกไซด์มีโอกาสละลายน้ำได้มากขึ้นตามลำดับ ถ้าในน้ำมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำกว่าจุดอิ่มตัว คาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศจะละลายปนกับน้ำแต่ถ้าในน้ำมีประมาณคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่าจุดอิ่มตัว คาร์บอนไดออกไซด์ก็จะระเหยจากน้ำขึ้นสู่อากาศ ตามทฤษฎีการถ่ายเทคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างน้ำกับอากาศเกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา จนกว่าในน้ำจะมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ถึงจุดอิ่มตัว หรือในน้ำมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับในอากาศ แต่ในทางปฏิบัติมักจะไม่พบว่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำเท่ากับในอากาศ เพราะว่าอยู่ในระหว่างการถ่ายเทแลกเปลี่ยนตลอดเวลา

น้ำในบ่อปลาได้รับคาร์บอนไดออกไซด์จากการที่คาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศละลายปนกับน้ำ จากการระบวนการหายใจของพืชและสัตว์ที่อยู่ในน้ำ และจากการย่อยสลายของอินทรียสาร น้ำในบ่อปลาสูญเสียคาร์บอนไดออกไซด์ไปกับกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช การระเหยของคาร์บอนไดออกไซด์จากน้ำขึ้นสู่อากาศ การตกตะกอนของแคลเซียมคาร์บอเนต เป็นต้น ในเวลากลางวันพืชใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นปริมาณมาก เพื่อการสังเคราะห์แสง ดังนั้นในเวลากลางวันปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่พบในบ่อปลาจึงลดลง และการลดลงของคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำจะเกินอย่างรวดเร็วในบ่อปลาที่มีแพลงค์ตอนพืชมาก ส่วนในเวลากลางคืนพืชไม่สังเคราะห์แสง แต่กระบวนการต่างๆ ที่เพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์ให้แก่น้ำยังคงเกิดขึ้นตลอดเวลา อีกทั้งอุณหภูมิลดลงทำให้คาร์บอนไดออกไซด์ละลายน้ำได้มากขึ้น ดังนั้นจึงพบคาร์บอนไดออกไซด์เป็นปริมาณมากในเวลากลางคืน พอตอนเช้าเริ่มมีการสังเคราะห์แสงปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำก็จะเริ่มลดลงอีก การผันแปรของคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำในรอบวันของบ่อปลาที่มีแพลงค์ตอนพืชมากจะรุนแรงกว่าในบ่อปลาที่มีแพลงค์ตอนพืชน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำละลายปนกับน้ำ จะแสดงคุณสมบัติเป็นกรด คาร์บอนไดออกไซด์ปริมาณน้อยกว่า 1 % ของปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในน้ำ จะรวมตัวกับน้ำอยู่ในรูปกรดคาร์บอนิค ซึ่งเป็นกรดอ่อน และกรดคาร์บอนิค อาจจะแตกตัวให้ไบคาร์บอเนต

$$H_2O + CO_2 \rightleftharpoons H_2CO_3 \rightleftharpoons H^+ + HCO^{3-} \rightleftharpoons H^+ + CO_3^{2-}$$

คาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำอยู่ได้ 3 รูป คือ

1. คาร์บอนไดออกไซด์ และกรดคาร์บอนิค เรียกว่า คาร์บอนไดออกไซด์อิสระ (Free Carbondioxide)
2. ไบคาร์บอเนต เรียกว่า Half Bound Carbondioxide
3. คาร์บอเนต เรียกว่า Bound Carbon Dioxide

สัดส่วนของคาร์บอนไดออกไซด์ทั้ง 3 รูป ขึ้นอยู่กับความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำ ที่ความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำเท่ากับ 7 20% ของคาร์บอนไดออกไซด์จะอยู่ในรูปคาร์บอนไดออกไซด์ และกรดคาร์บอนิค อีก 80% อยู่ในรูปไบคาร์บอเนต เมื่อความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำเท่ากับ 5 คาร์บอนไดออกไซด์เกือบทั้งหมดจะอยู่ในรูปกรดคาร์บอนิคซึ่งไม่แตกตัว ความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำเท่ากับ 8.5 คาร์บอนไดออกไซด์เกือบทั้งหมดจะอยู่ในรูปไบคาร์บอเนต ความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำเท่ากับ 10 คาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 24 % จะอยู่ในรูปคาร์บอเนต ส่วนที่เหลือเป็นไบคาร์บอเนต

คาร์บอนไดออกไซด์ที่รวมตัวกับน้ำอยู่ในรูปกรดคาร์บอนิค เมื่อสัมผัสกับหินหรือดินที่มีหินปูน จะทำปฏิกิริยาเคมีละลายหินปูนให้อยู่ในรูปของแคลเซียมไบคาร์บอเนตซึ่งมีคุณสมบัติละลายน้ำได้ง่าย

$$H_2CO_3 + CaCO_3 \rightleftharpoons Ca(HCO_3)_2$$

ถ้ากรดคาร์บอนิคและแคลเซียมคาร์บอเนตมีมาก แคลเซียมไบคาร์บอเนตก็จะเกิดขึ้นมากตามไปด้วยแต่ถ้ากรดคาร์บอนิคและแคลเซียมคาร์บอเนตลดน้อยลงแคลเซียมไบคาร์บอเนตจะแคลเซียมไบคาร์บอเนตจะสลายตัวให้แคลเซียมคาร์บอเนตและกรดคาร์บอนิค และกรดคาร์บอนิคจะสลายตัวให้คาร์บอนไดออกไซด์ต่อไป ดังนั้น จึงถือว่า แคลเซียมไบคาร์บอเนตเป็นแล่งสำรองคาร์บอนไดออกไซด์ในบ่อปลา เมื่อพืชใช้คาร์บอนไดออกไซด์เพื่อการสังเคราะห์แสงจนหมด พืชก็จะได้รับคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มเติมจากการสลายตัวของแคลเซียมไบคาร์บอเนต

$$Ca(HCO_3)_2 \rightleftharpoons CaCO_3 + H_2O + CO_2$$

คาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในน้ำ นอกจากมีความสำคัญต่อการสังเคราะห์แสงของพืชแล้วยังมีความสำคัญต่อการควบคุมไม่ให้ความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำแปลงไปอย่างรวดเร็วอีกด้วย อธิบายได้ดังนี้คือ เมื่อคาร์บอนไดออกไซด์รวมกับน้ำจะอยู่ในรูปของกรดคาร์บอนิค และกรดคาร์บอนิคสามารถแตกตัวได้ง่ายให้ไฮโดรเจนอิออนและไบคาร์บอเนต ไบคาร์บอเนตที่ได้จารการแตกตัวของกรดคาร์บอนิคจะแตกตัว ต่อไปให้คาร์บอเนตและไฮโดรเจนอิออน

$$H_2CO_3 \rightleftharpoons H^+ + HCO_3$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$HCO_3^- \rightleftharpoons H^+ + CO_3^{2-}$$

ปริมาณของไฮโดรเจนอิออน ขึ้นอยู่กับปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์ ถ้าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำมีน้อย ปริมาณไฮโดรเจนอิออนก็จะมีน้อยด้วย แต่ถ้าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำมีมาก ปริมาณไฮโดรเจนอิออนก็มีมากด้วย ขณะที่กรดคาร์บอนิคแตกตัวให้ไฮโดรเจนอิออน แคลเซียมไบคาร์บอเนต และคาร์บอเนตอิออนจะทำปฏิกิริยากับน้ำให้ไฮดรอกซิลอิออน

$$Ca(HCO_3)_2 \rightleftharpoons Ca^{2+} + 2HCO_3^-$$

$$HCO_3^- + H_2O \rightleftharpoons H_2CO_3 + OH^-$$

$$CO_3^{2-} + H_2O \rightleftharpoons HCO_3^- + OH^-$$

ปริมาณของไฮดรอกซิลอิออนจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณของแคลเซียมไบคาร์บอเนต และคาร์บอเนต

ความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำ ขึ้นอยู่กับปริมาณไฮโดรเจนอิออน และปริมาณไฮดรอกซิลอิออน ถ้าน้ำมีปริมาณไฮดรอกซิลอิออนมากกว่าไฮโดรเจนอิออน น้ำจะมีฤทธิ์เป็นด่าง ในทางตรงกันข้าม ถ้าน้ำมีปริมาณไฮโดรเจนอิออนมากกว่าไฮดรอกซิลอิออนน้ำ ก็จะมีฤทธิ์เป็นกรด แต่โดยทั่วไปปริมาณไฮดรอกซิลอิออนจะมีมากกว่าปริมาณไฮโดรเจนอิออน ดังนั้นน้ำที่มีคาร์บอเนตอิออนและไบคาร์บอเนตอิออนในปริมาณมากพอจะมีฤทธิ์เป็นด่างส่วนน้ำที่ขาดแคลนคาร์บอเนตอิออนและไบคาร์บอเนตจะมีฤทธิ์เป็นกรด

ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)

ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง บอกให้ทราบว่า น้ำหรือสารละลายมีคุณสมบัติเป็นกรดหรือเป็นด่าง การวัดค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำ คือการวัดปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนอิออนในน้ำ ระดับความเป็นกรดเป็นด่าง มีค่าอยู่ระหว่าง 0 – 14 น้ำที่มีความเป็นกรดเป็นด่างเท่ากับ 7 แสดงความเป็นกลาง คือไม่มีฤทธิ์เป็นกรดหรือเป็นด่าง น้ำที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างสูงกว่า 7 มีฤทธิ์เป็นด่าง ส่วนน้ำที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างต่ำกว่า 7 มีฤทธิ์เป็นกรด

ความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำในบ่อปลา มีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับการดำรงชีวิตของปลาในด้านต่างๆ เช่น ความอยู่รอด การเจริญเติบโต การสืบพันธุ์ เป็นต้น ปลาที่อยู่ในน้ำซึ่งมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างต่ำ จะทำให้เกิดสภาวะเป็นกรดในเกลือ ไม่สามารถควบคุมการออสโมซิสได้ ร่างกายอ่อนแอติดโรคได้ง่าย เซลล์บุผิวเหงือกถูกทำลาย มิวคัสเซลล์ (Mucous Cell) ขยายใหญ่ขึ้น (Hypertrophy) ปลาที่มีอายุมากอดทนต่อความเป็นกรดของน้ำได้ดีกว่าปลาอายุน้อย ชื่นหทัย (2529) รายงานว่าปลานิลวัยอ่อนและวัยเจริญพันธุ์ที่เลี้ยงอยู่ในน้ำ ซึ่งมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างเท่ากับ 2 และ 3 ตายหมดภายในเวลา 1-3 วัน โดยปลานิลมีอาการว่ายน้ำ และเปิดปิดกระพุ้งแก้มอย่างรวดเร็ว ขึ้นมาที่ผิวน้ำเพื่อฮุบอากาศตลอดเวลา

โดยทั่วไป ปลาจะเจริญเติบโตดีที่ระดับความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำมีค่าอยู่ระหว่าง 6.5 – 9 ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำเท่ากับ 4 หรือต่ำกว่า และเท่ากับ 11 หรือสูงกว่า เป็นจุดอันตรายที่สามารถทำให้ปลาตายได้ ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำอยู่ระหว่าง 4 – 5 ปลาจะไม่มีการสืบพันธุ์ ค่าความเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรดเป็นด่างของน้ำอยู่ระหว่าง 4-6 และ 9-11 ไม่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของปลาทำให้การเลี้ยงปลามีผลผลิตต่ำ ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำในบ่อปลา ขึ้นอยู่กับปริมาณ คาร์บอนไดออกไซด์ และสารที่เป็นกรด แพลงค์ตอนพืชและพืชน้ำใช้คาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อการสังเคราะห์แสงในเวลากลางวัน ดังนั้น ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำจึงสูงในเวลากลางวันและค่อยๆลดลงในเวลากลางคืน เพราะว่าในน้ำมีคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น น้ำที่มีค่าความเป็นด่าง (Alkalinity) ต่ำ และมีปริมาณแพลงค์ตอนพืชมากจะมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างสูงถึง 9 หรือ 10 ในช่วงตอนบ่าย แต่ถ้าน้ำมีค่าความเป็นด่างสูงการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดเป็นด่างจะมีไม่มาก การวัดค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงปลา ควรตรวจวัดในตอนเช้ามืดและตอนบ่ายเพื่อหาความแตกต่างระหว่างค่าต่ำสุดและสูงสุดในรอบวัน แหล่งน้ำที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของปลาไม่ควรมีการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเป็นด่างเกิน 2 ในรอบวัน ความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำในบ่อปลา นอกจากจะขึ้นอยู่กับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์และสารที่เป็นกรดแล้ว ยังขึ้นอยู่กับความเป็นกรดเป็นด่างของดินก้นบ่ออีกด้วย ถ้าดินก้นบ่อมีความเป็นกรดเป็นด่างสูง ความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำก็จะสูงด้วย บ่อเลี้ยงปลาที่ดินมีสภาพเป็นกรด จะทำให้น้ำในบ่อมีฤทธิ์เป็นกรดไปด้วย ซึ่งไม่เกิดผลดีต่อการเลี้ยงปลา สามารถปรับปรุงแก้ไขให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างสูงขึ้นโดยการใส่ปูนขาว ปูนขาวจะทำปฏิกิริยาเคมีกับดินทำให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างสูงขึ้น นอกจากนี้บังช่วยเพิ่มค่าความเป็นด่างและความกระด้าง (Hardness) ของน้ำอีกด้วย

การตรวจวัดค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำ ถ้าต้องการทราบค่าอย่างละเอียดสามารถวัดได้โดยใช้เครื่องวัดพีเอช (pH Meter) ส่วนการวัดความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำเพื่อต้องการทราบค่าอย่างหยาบๆ สามารถวัดได้โดยใช้กระดาษวัดพีเอช ด้วยการเทียบสีกับมาตรฐาน

ความเป็นด่าง (Alkalinity)

ความเป็นด่างของน้ำ คือ ความสามารถรับโปรตอนหรือไฮโดรเจนอิออนของน้ำ หรือความสามารถของน้ำที่ทำให้สภาพความเป็นกรดกลายเป็นกลาง ความเป็นด่างของน้ำประกอบด้วยคาร์บอเนต ไบคาร์บอเนต และไฮดรอกไซด์เป็นส่วนใหญ่ อาจมีพวกบอเรต (Borates) ซิลิเกต (Silicates) ฟอตเฟต และสารอินทรีย์ต่างๆ ปนอยู่บ้างเป็นจำนวนน้อย ค่าความเป็นด่างของในแหล่งน้ำธรรมชาติ พบตั้งแต่ห้าไปจนถึงหลายร้อยมิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนใหญ่ค่าความเป็นด่างของน้ำในพื้นที่แห้งแล้งจะมีค่าสูง ความเป็นด่างไม่เป็นพิษแต่มีผลเกี่ยวเนื่องกับคุณสมบัติอื่นๆ ของน้ำ เช่น ความเป็นกรดเป็นด่าง ความกระด้าง เป็นต้น ความเป็นด่างของน้ำช่วยควบคุมไม่ให้แหล่งน้ำมีการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดเป็นด่างอย่างรวดเร็ว น้ำที่มีค่าความเป็นด่างต่ำจะเป็นน้ำอ่อนและมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างต่ำซึ่งทำให้แหล่งน้ำมีผลผลิตต่ำ น้ำที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างต่ำกว่า 4.5 จะไม่พบค่าความเป็นด่าง น้ำที่มีค่าความเป็นด่างสูงและมีค่าความกระด้างต่ำ ในช่วงเวลาที่มีการสังเคราะห์แสงค่าความเป็นกรดเป็นด่างจะสูงขึ้นมากอย่างรวดเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความเป็นด่างของน้ำ ตรวจวัดออกมาเป็น 5 แบบ คือ

1. น้ำที่มีค่าความเป็นด่างเกิดจากไฮดรอกไซด์เพียงอย่างเดียว มีค่าความเป็นด่างกรดเป็นด่างสูง มักเกิน 10 ขึ้นไป

2. น้ำที่มีค่าความเป็นด่างเกิดจากคาร์บอเนตเพียงอย่างเดียว มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างสูงกว่า 8.5 ขึ้นไป

3. น้ำที่มีค่าความเป็นด่างเกิดจากไฮดรอกไซด์และคาร์บอเนตรวมกัน มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างค่อนข้างสูงเกินกว่า 10 ขึ้นไป

4. น้ำที่มีค่าความเป็นด่างเกิดจากคาร์บอเนตและไบคาร์บอเนตรวมกัน มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างประมาณ 8.3 ขึ้นไป แต่ไม่เกิน 11

5. น้ำที่มีค่าความเป็นด่างเกิดจากไบคาร์บอเนตอย่างเดียวมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างต่ำกว่า 8.3

ค่าความเป็นด่างของน้ำ สามารถปรับให้สูงขึ้นได้ โดยการใส่ปูนขาว

ความกระด้าง (Hardness)

ความกระด้างโดยทั่วไปหมายถึง ปริมาณของเกลือแคลเซียมและแมกนีเซียมที่ละลายอยู่ในน้ำในรูปของคาร์บอเนต ไบคาร์บอเนต คลอไรด์ และซัลเฟต ซึ่งส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของคาร์บอเนต และไบคาร์บอเนต ในแหล่งน้ำจืด ปริมาณแคลเซียมมีมากกว่าแมกนีเซียมเสมอ โดยปกติค่าความเป็นด่างและค่าความกระด้างของน้ำจะมีความสัมพันธ์ไปในทางเดียวกัน เนื่องจากอิออนของแคลเซียม แมกนีเซียม ไบคาร์บอเนตและคาร์บอเนตในน้ำมีปริมาณใกล้เคียงกัน แต่ในบางครั้งพบว่าค่าความเป็นด่างสูงกว่าค่าความกระด้างมาก

ความกระด้างแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. ความกระด้างชั่วคราว เกิดจากเกลือแคลเซียมไบคาร์บอเนตหรือแมกนีเซียมไบคาร์บอเนตละลายปนอยู่ในน้ำ เมื่อถูกความร้อนเกลือที่ละลายอยู่ในน้ำจะตกตะกอนกลายเป็นหินปูนทำให้ความกระด้างของน้ำหายไป

2. ความกระด้างถาวร เกิดจากเกลือแคลเซียมคลอไรด์ แมกนีเซียมคลอไรด์ แคลเซียมซัลเฟต แมกนีเซียมซัลเฟต แคลเซียมคาร์บอเนต หรือแมกนีเซียมคาร์บอเนตละลายปนอยู่ในน้ำ เมื่อถูกความร้อนความกระด้างของน้ำจะไม่หายไป

ความกระด้างรวมของน้ำ (Total Hardness) หมายถึง ผลรวมของความกระด้างชั่วคราวและความกระด้างถาวร โดยคำนวณออกมาในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต ค่าความกระด้างของน้ำมีตั้งแต่ศูนย์จนถึงระดับเป็นร้อยมิลลิกรัมต่อลิตร จัดแบ่งประเภทของน้ำตามระดับความกระด้างได้ดังนี้คือ น้ำอ่อนมีความกระด้าง 0-75 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำกระด้างปานกลางมีความกระด้าง 75-150 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำกระด้างค่อนข้างมากมีความกระด้าง 150-300 มิลลิกรัมต่อสิตร น้ำกระด้างมากมีความกระด้าง 300 มิลลิกรัมต่อลิตรขึ้นไป ความกระด้างของน้ำไม่ทำให้เกิดอันตรายต่อปลาแต่ความกระด้างของน้ำมีผลต่อเนื่องกับค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเป็นด่างและค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำ ซึ่งทำให้มีผลกระทบต่อปลาได้ ความกระด้างของน้ำช่วยลดความเป็นพิษของสารพิษหลายชนิดได้ โดยเฉพาะพวกโลหะหนัก เช่น ปรอท ตะกั่ว แคดเมียม ฯลฯ น้ำที่มีความกระด้างปานกลางหรือสูงมีความเหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ น้ำในบ่อปลาที่เหมาะต่อการเจริญเติบโตของปลาควรมีความความเป็นด่างและค่าความกระด้างใกล้เคียงกัน ความกระด้างของน้ำสามารถเพิ่มได้โดยใส่ปูนขาว

แอมโมเนีย

ในบ่อเลี้ยงปลาที่มีการให้อาหารประเภทเนื้อสัตว์หรืออาหารที่มีโปรตีนสูง อาหารที่เหลือและของเสียที่ปลาขับถ่ายออกมากจะมีสารโปรตีนหรือสารอินทรีย์ไนโตรเจนที่ยังย่อยไม่หมด สารเหล่านี้จะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียและเชื้อราบางชนิดให้เป็นแอมโมเนีย นอกจากนี้แอมโมเนียในบ่อปลายังได้จากกระบวนการย่อยสลายซากพืชและซากสัตว์ โดยแบคทีเรียและเชื้อราอีกด้วย โดยเฉพาะเมื่อแพลงค์ตอนพืชตายเป็นจำนวนมากจะทำให้ปริมาณแอมโมเนียในน้ำสูงขึ้น แอมโมเนียในน้ำมีอยู่ 2 รูป คือ อิออนไนซ์แอมโมเนีย (Ionized Ammonia, NH_4^+) ซึ่งไม่เป็นพิษต่อปลา และอันอิออนไนซ์แอมโมเนีย (Unionized Ammonia, NH_3) ซึ่งเป็นพิษต่อปลา แอมโมเนียจะอยู่ในรูปอันอิออนไนซ์มากกว่ารูปอิออนไนซ์เมื่อน้ำมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างและอุณหภูมิสูง ความเป็นพิษของอันอิออนไนซ์แอมโมเนียจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำต่ำและพิษของอันอิออนไนซ์แอมโมเนียลดลงถ้าในน้ำมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สูง เพราะว่าคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำทำให้ความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำลดลง

แอมโมเนียเป็นสาเหตุทำให้ปลาเกิดอาการระคายเคือง โดยเฉพาะบริเวณเหงือก ซี่เหงือกจะเพิ่มจำนวนเซลล์มากขึ้น (Hyperplasia) และเชื่อมติดกัน ทำให้ปลาไม่สามารถแลกเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์และออกซิเจนกับน้ำได้เต็มที่ ปริมาณแอมโมเนียในน้ำที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ความเข้มข้นของออกซิเจนในเลือดปลาลดลง ถ้าในน้ำมีปริมาณแอมโมเนียสูงถึง 1 มิลลิกรัม/ลิตร จะทำให้ปริมาณออกซิเจนในเลือดลดลงอย่างรวดเร็ว เหลือเพียง 1 ใน 7 ส่วนของสภาวะปกติ ทั้งนี้เนื่องจากแอมโมเนียมีผลกระทบต่อการขนส่งออกซิเจนในเลือด โดยทำให้ฮีโมโกลบินของเลือดสูญเสียความสามารถในการรวมตัวกับออกซิเจน และมีผลทำให้เลือดไม่สามารถกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ได้อีกด้วย ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์จะเพิ่มปริมาณขึ้น 15% ของสภาวะปกติ สามารถลดความเป็นพิษของแอมโมเนียในบ่อเลี้ยงปลาได้โดยใช้เกลือแกง (NaCl) ในอัตราประมาณ 200 – 250 กิโลกรัม/ไร่ ทุกๆ 1 – 2 สัปดาห์

ไฮโดรเจนซัลไฟด์

ในสภาพที่ในน้ำไม่มีออกซิเจน แบคทีเรียจะย่อยสลายอินทรียสารในน้ำโดยดึงเอาออกซิเจนจากสารประกอบพวกซัลเฟตไปใช้ทำให้เกิดซัลไฟด์ (S^{2-}) และไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ดังสมการ

$$SO_4^{2-} + \text{อินทรียสาร} \rightleftharpoons S^- + H_2O + CO_2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$S^{2-} + 2H \rightleftharpoons H_2S$$

ไฮโดรเจนซัลไฟด์ หรือที่เรียกว่า ก๊าซไข่เน่า มีอยู่ 2 รูป คือ อันอิออนไนซ์ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (F_2S) และอิออนไนซ์ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (SH^-, S) ถ้าค่าความ pH ของน้ำสูงกว่า 8 ไฮโดรเจนซัลไฟด์ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปอิออนไนซ์ แต่ถ้าค่าความเป็นกรดเป็นด่างต่ำกว่า 8 ไฮโดรเจนซัลไฟด์ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปอันอิออนไนซ์ ไฮโดรเจนซัลไฟด์รูปอันอิออนไนซ์จะเป็นพิษต่อปลา ระดับความเป็นพิษขึ้นอยู่กับชนิดของปลา อันอิออนไนซ์ไฮโดรเจนซัลไฟด์มีผลทำให้อัตราการเจริญเติบโตของปลาลดลงและอัตรารอดลดลง ในบ่อเพาะเลี้ยงปลาไม่ควรมีไฮโดรเจนซัลไฟด์ในรูปอันอิออนไนซ์เกินกว่า 0.002 มิลลิกรัม/ลิตร ตามพื้นก้นบ่อปลามักเกิดการขาดออกซิเจนที่ละลายน้ำได้ง่าย เพราะฉะนั้นปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์จะมีมากตามก้นบ่อปลา เนื่องจากอาหารที่เหลือและของเสียที่ปลาขับถ่ายออกมาตกลงสู่พื้นก้นบ่อ แบคทีเรียจะย่อยสลายสารอินทรีย์เหล่านี้ทำให้เกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์ น้ำที่มีไฮโดรเจนซัลไฟด์จะมีสีคล้ำและมีกลิ่นเหม็น นอกจากนี้ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ยังสามารถทำให้เกิดความเป็นกรดในดิน และน้ำบริเวณพื้นก้นบ่อได้อีกด้วย เนื่องจากไฮโดรเจนซัลไฟต์ทำปฏิกิริยากับแร่เหล็ก ซึ่งมีอยู่มากในดิน เกิดเป็นเหล็กซัลไฟด์ (FeS) และเหล็กซัลไฟด์ทำปฏิกิริยากับกำมะถันในดิน กลายเป็นเหล็กไดซัลไฟด์ (FeS_2) หรือแร่ไพไรท์ประกอบอยู่ด้วย ถ้าจมอยู่ใต้น้ำจะไม่มีปัญหาในเรื่องความเป็นกรด เพราะว่าสลายตัวช้ามากแต่ถ้ามีโอกาสได้รับออกซิเจนอย่างเพียงพอ ก็จะทำปฏิกิริยาเกิดเป็นกรดได้ บ่อเลี้ยงปลาที่มีดินโคลนก้นบ่อเป็นสีคล้ำ แสดงว่าสภาพพื้นบ่อไม่เหมาะสม ควรปรับปรุงแก้ไขโดยลดปริมาณอาหารที่ให้ปลา หรือใส่ปูนขาวประมาณ 30 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือเติมเกลือแกง 250 มิลลิกรัมต่อลิตร ลงในบ่อเป็นระยะๆ ก่อนการเลี้ยงปลาครั้งต่อไป ควรตากบ่อให้แห้ง และใส่ปูนขาวให้ทั่วบ่อเพื่อลดสารประกอบพวกซัลไฟด์ให้น้อยลงหรือหมดไป

คุณสมบัติทางชีววิทยาของน้ำ

แพลงค์ตอนพืชและแพลงค์ตอนสัตว์

แพลงค์ตอนพืชและแพลงค์ตอนสัตว์เป็นอาหารธรรมชาติที่มีอยู่ในบ่อปลา ซึ่งเป็นอาหารของปลากินแพลงค์ตอนและลูกปลาขนาดเล็ก บ่อปลาที่มีการเลี้ยงปลาแบบใส่ปุ๋ยหรือให้อาหารเป็นประจำจะมีแพลงค์ตอนพืชและแพงค์ตอนสัตว์เกิดขึ้นเป็นจำนวนมากเพราะว่ามีธาตุอาหารอุดมสมบูรณ์ โดยเฉพาะในช่วงฤดูร้อนแพลงค์ตอนพืชในบ่อปลาจะเกิดมากขึ้นเนื่องจากมีแสงแดดจัดและปริมาณน้ำในบ่อปลาลดน้อยลงเพราะว่าอยู่ในสภาวะแห้งแล้ง แสงแดดส่องผ่านพื้นน้ำได้อย่างทั่วถึง การสังเคราะห์แสงมีมากขึ้น แพลงค์ตอนพืชจึงขยายพันธุ์ได้รวดเร็ว ปริมาณแพลงค์ตอนพืชและแพลงค์ตอนสัตว์เป็นปัจจัยหนึ่งข้องกับการขาดแคลนปริมาณออกซิเจนในบ่อปลา ซึ่งอาจถึงขั้นทำให้ปลาตายได้

แบคทีเรีย

จากการศึกษาพบว่า แบคทีเรียในน้ำจืดหลายชนิดเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ปลาน้ำจืดเกิดโรค แบคทีเรียดังกล่าว ได้แก่ *Aeromonas Hydrophila* , *Edwardsiella Tarda* , *Pesteurella sp.* , *Flexibactor Columnaris* , *Pseudomonas Fluorescens* และ *Pseudomonas sp.* เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รา

เชื้อราในน้ำจืดเจริญรวดเร็วในน้ำที่มีอินทรียสารมาก เชื้อราที่เป็นสาเหตุทำให้ปลาเกิดโรคอยู่ในสกุล Saprolegnia และ achlya

สาหร่ายคือกลุ่มของสิ่งมีชีวิตเล็กๆที่สามารถสังเคราะห์แสงได้ การผลิตสาหร่ายจึงเป็นการเปลี่ยนของเสียให้อยู่ในรูปโปรตีนที่มีประโยชน์ พบว่าสาหร่ายมีโปรตีนประมาณ 50% ซึ่งสูงกว่าถั่วเหลืองและสามารถใช้เป็นอาหารให้กับปลากินพืชได้ (Herbivore fish) ลักษณะของปลากินพืชคือ ไม่มีฟัน (lack teeth) , มีเหงือกที่สามารถใช้กรอง microscopic plant ได้ (fine gill rakers) , มีลำไส้ยาวและบาง (long thin – walled intestine) , กินพืชเป็นอาหารได้อย่างเดียว เช่น สาหร่าย และพืชอื่นๆ ตัวอย่างของปลาพวกนี้ เช่น ปลาหมอเทศ ปลานิล ปลาไน ปลานวลจันทร์ ปลาจีน ปลายี่สก และปลาตะเพียน

ระบบนิเวศในบ่อเลี้ยงปลาด้วยของเสียจะมีความสัมพันธ์คล้ายคลึงกับระบบนิเวศทางทะเล และน้ำจืด ซึ่งมี 3 กลุ่มสิ่งมีชีวิตที่สำคัญคือ

- primary producer
- primary secondary tertiary consumers
- decomposer organism

ปัญหาสำคัญที่เกิดจากความสัมพันธ์ในห่วงโซ่อาหารคือ

Biomagnification คือการสะสมของสารพิษ เช่น pesticide หรือโลหะหนักในสิ่งมีชีวิต เพิ่มสูงขึ้นตามลำดับขั้นของห่วงโซ่อาหาร

Bioaccumulation คือปรากฏการณ์ที่สารพิษในเนื้อเยื่อมีความเข้มข้นสูงกว่าความเข้มข้นของสารพิษในน้ำ

ปัจจัยที่มีผลต่อ Bioaccumulation

- ระยะเวลาที่ได้รับสารพิษ
- อัตราการได้รับสารพิษ
- metabolism ของสัตว์
- อัตราการขับถ่าย
- ความสามารถในการสะสมสารพิษในเนื้อเยื่อ
- สภาวะทางร่างกายของสิ่งมีชีวิต

ในบ่อเลี้ยงปลาที่ได้ผลดี สาหร่าย แบคทีเรีย และปลา จะมีความสัมพันธ์แบบ symbiotic สาหร่ายผลิตออกซิเจนและอาหารให้ปลา แบคทีเรียย่อยสลายของเสียให้สาหร่าย ปฏิกิริยาทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นในบ่อมี 3 โซน

โซนที่ 1 Aerobiczone : bacteria และสาหร่ายอยู่ร่วมกัน มี symbiotic reaction เกิดขึ้น มีการนำออกซิเจนที่ผิวน้ำโดย natural surface reaeration และจาก algae photosynthesis และออกซิเจนจะถูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ได้ nutrient และคาร์บอนไดออกไซด์ ออกมา และถูกสาหร่ายนำไปใช้ในการสังเคราะห์แสง

โซนที่2 Intermediat (facultative) zone : ในส่วนนี้เป็นที่เจริญเติบโตของแบคทีเรียชนิด facultative จะย่อยสลายของเสียด้วยกระบวนการ aerobic และ anaerobic

โซนที่ 3 Anaerobic zone : อยู่ชั้นล่างมี accumulated solid ซึ่งถูก anaerobic bacteria ย่อยสลายต่อไป

ปกติแล้ว ปลาจะอยู่ในโซนที่ 1 และ 2 ซึ่งมีออกซิเจนและอาหาร (algae)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

1. ตะกอนจากบริษัทสำปะหลังพัฒนาจำกัด
2. วิตามินและเกลือแร่ผสม (Premix)
3. ปลาป่น
4. กากถั่วเหลือง
5. แป้งมันสำปะหลัง
6. DCP (Dicalciumphosphate)
7. น้ำมันพืชยี่ห้อมรกต
8. ปลานิลแปลงเพศจำนวนทั้งหมด 480 ตัว

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. บ่อซีเมนต์กลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.4 เมตร ปริมาตร 1.54 ลูกบาศก์เมตร จำนวน 12 บ่อ
2. อุปกรณ์ชั่งวัดปลาแบบดิจิตอล เครื่องขนาด 7 กิโลกรัม และไม้บรรทัดสำหรับวัดความยาวปลา
3. เครื่องพ่นอากาศและหัวทรายสำหรับเพิ่มออกซิเจน
4. เครื่องวัดพีเอชรุ่น HI 8424 (pH Meter)
5. เครื่องวัดอุณหภูมิรุ่น YSI 5902 (Thermometer)
6. เครื่องวัดดีโอรุ่น YSI 5902 (DO Meter)
7. เครื่อง Spectrophotometer
8. เครื่องไมโครเวฟ Milestone รุ่น MLS 1200 mega.
9. Atomic Absorption Spectroscopy ยี่ห้อ Shimasu รุ่น 760

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การดำเนินการทดลอง

3.3.1 ทำการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของตะกอน

นำตะกอนแห้งไปวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน (Crude protein) ไขมัน (Crude Lipids) เถ้า (Ash) ความชื้น (Moisture) คาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ (NFE) พีเอช (pH) และหาปริมาณอินทรีย์วัตถุ (Organic matter) โดยหาเป็นร้อยละของส่วนประกอบทั้งหมด วิธีการวิเคราะห์แสดงดังตาราง

ตารางที่ 3.1 แสดงวิธีวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของตะกอน

องค์ประกอบทางเคมี	วิธีวิเคราะห์
Crude Protein	Copper Catalyst Kjeldahl Method , AOAC Official Method 984.13
Crude Lipids	Soxhlet Extraction
Crude Fiber	Digestion Method
Ash	Burned
Moisture	Hot Air Oven
NFE	Calculation
Organic Matter	Walkley – Black
pH	PH meter

หมายเหตุ : วิธีการโดยละเอียดแสดงในภาคผนวก ก

3.3.2 การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก

โลหะที่จะทำการวิเคราะห์ ได้แก่ ตะกั่ว (Pb) แคดเมียม (Cd) นิกเกิล (Ni) เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) และสังกะสี (Zn) โดยจะทำการย่อยด้วยวิธี Microwave Digestion และทำการวิเคราะห์ต่อด้วยวิธี Absorption Spectroscopy

3.3.3 เตรียมส่วนผสมต่างๆ และการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ

ส่วนผสมต่างๆ ที่ใช้ในการทำอาหารเลี้ยงปลานิล ได้แก่

1. ตะกอนจากมันสำปะหลัง

นำตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์จากมันสำปะหลังมาทำการตากให้แห้งแล้วบดให้ละเอียด

2. วิตามินและเกลือแร่ผสม (Premix)
3. ปลาป่น
4. กากถั่วเหลือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ข้าวโพด
6. แป้งมันสำปะหลัง
7. DCP (Dicalciumphosphate)
8. น้ำมันพืช

ทำการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของปลาป่น กากถั่วเหลือง ข้าวโพดและแป้งมันสำปะหลัง ปัจจัยที่วิเคราะห์ดังนี้คือ โปรตีน ไขมัน ไฟเบอร์ เถ้า ความชื้น และคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้

3.3.4 การเตรียมอาหาร

ทำการคำนวณหาอัตราส่วนของส่วนผสมต่างๆ ที่เหมาะสมกับปริมาณคุณค่าทางอาหารที่ปลานิลต้องการเป็นอาหารสูตรพื้นฐาน อาหารที่ใช้ในการทดลองแบ่งเป็น 4 สูตรคือ

สูตรที่ 1 อาหารกลุ่มควบคุม

สูตรที่ 2 อาหารกลุ่มควบคุม 95% + ตะกอน 5%

สูตรที่ 3 อาหารกลุ่มควบคุม 90% + ตะกอน10%

สูตรที่ 4 อาหารกลุ่มควบคุม 80% + ตะกอน20%

นำอาหารแต่ละสูตรมาผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องผสมและนำไปอัดให้เป็นเม็ด แล้วนำอาหารเม็ดไปตากให้แห้งในที่ร่ม หลังจากนั้นนำอาหารแต่ละสูตรไปวิเคราะห์องค์ประกอบดังนี้ โปรตีน ไขมัน เถ้า ความชื้น และคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ วิธีวิเคราะห์แสดงดังตาราง 3.1

3.3.5 การอนุบาลปลา

นำลูกปลานิลที่มีอายุและขนาดใกล้เคียงกันมาอนุบาลไว้ในบ่อคอนกรีตจนได้ขนาดประมาณ 10 กรัม โดยให้อาหารวันละ 2 ครั้ง คือตอนเช้าในช่วงเวลา 8.00-9.00 น. และตอนเย็นในช่วงเวลา 16.00 - 17.00 น.

3.3.6 การวางแผนการทดลอง

ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomize Design ; CRD) โดยมี

Treatment 1 (T1) คืออาหารสูตรที่ 1 ซึ่งเป็นกลุ่มควบคุม (Control)

Treatment 2 (T2) คืออาหารสูตรที่ 2

Treatment 3 (T3) คืออาหารสูตรที่ 3

Treatment 4 (T4) คืออาหารสูตรที่ 4

แต่ละ Treatment จะใช้ 3 ซ้ำ ดังนั้นจึงใช้บ่อเลี้ยงปลา 12 บ่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

.3.7 การทดลองเลี้ยงปลาโดยใช้อาหารทั้ง 4 สูตร

1. เลือกปลาที่มีขนาดใกล้เคียงกันแล้วทำการสุ่มชั่งน้ำหนักเพื่อหาน้ำหนักเฉลี่ยของประชากรปลานิลทั้งหมด และนำไปเลี้ยงโดยให้มีอัตราความหนาแน่น 40 ตัวต่อหนึ่งบ่อ

2. การให้อาหารปลาจะให้แบบกินจนอิ่ม (Satiation) การให้อาหารจะให้วันละ 2 ครั้งคือ 9.30 น. และ 16.00 น. มีการทำความสะอาดบ่อโดยการดูดตะกอนอาหารและอุจจาระของปลาออกทุกสัปดาห์เป็นเวลาทั้งหมด 8 สัปดาห์

3. ทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำในแต่ละบ่อทุก 1 สัปดาห์ โดยมีพารามิเตอร์และวิธีการดังตาราง

ตารางที่ 3.2 แสดงวิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
Temperature	YSI 5902 Dissolved oxygen meter
DO (mg/L)	YSI 5902 Dissolved oxygen meter
PH	Microcomputer pH meter model HI 8424
SRP (Soluble Reactive Phosphate)(mg/L)	Ascorbic Acid Method
Ammonia (NH_3-N) (mg/L)	Phenolhypochlorite Method
Nitrite (NO_2-N) (mg/L)	Azo Dye Method
Nitrate (NO_3-N) (mg/L)	Cadmium Reduction Method
Total Alkalinity (mg/l)	Titrate Against Standard Sulphuric Acid with Methylorange as an Indicator

หมายเหตุ : วิธีการโดยละเอียดแสดงในภาคผนวก ก

4. บันทึกผลการทดลองทุก 2 สัปดาห์ โดยการชั่งน้ำหนัก วัดความยาวและดูอัตราการรอดตายของปลาในแต่ละบ่อ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการเลี้ยงมาวัด

5. ทำการหาปริมาณโลหะหนัก ในตัวปลาในตอนเริ่มต้นและเมื่อทำการเลี้ยงจนครบ 8 สัปดาห์

6. เลี้ยงปลานิลจนครบ 8 สัปดาห์ และนำผลการทดลองที่ได้ไปวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรม Statgraphics Version 7.0 ด้วยวิธี One Way Analysis of Varience และสรุปผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 การวิเคราะห์ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายที่จะนำของเสียที่เหลือจากการบำบัดแล้วมาใช้ให้เกิดประโยชน์โดยของเสียที่ใช้ในการทดลองคือกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์จากมันสำปะหลัง ผลการวิเคราะห์แสดงดังตาราง 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการวิเคราะห์ตะกอน

พารามิเตอร์	ร้อยละของส่วนประกอบทั้งหมด(น้ำหนักแห้ง)
Organic Matter	58.81
PH	7.5
Crude Protein	28.19
Crude Lipids	0.64
Ash	24.04
Moisture	7.46
NFE	39.68
Pb	0.009
Cd	ND
Ni	0.007
Fe	0.967
Mn	0.163
Zn	0.084

กากตะกอนที่ใช้ในการทดลองได้มาจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์จากมันสำปะหลัง ซึ่งวัตถุดิบเริ่มต้นเป็นอินทรียวัตถุ แต่เมื่อผ่านระบบบำบัดน้ำเสียแล้วอาจมีอนินทรียวัตถุมาเจือปน จึงต้องทำการวิเคราะห์ปริมาณอินทรียวัตถุในกากตะกอนว่ามีเพียงพอและเหมาะสมที่จะนำมาเป็นส่วนผสมในอาหารเลี้ยงปลานิลหรือไม่ จากการวิเคราะห์ตะกอนพบว่ามีปริมาณอินทรียวัตถุสูงถึง 58.81 เปอร์เซ็นต์ จึงน่าจะสามารถนำมาเป็นวัตถุดิบส่วนหนึ่งในการทำอาหารเลี้ยงปลานิลได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากค่า pH ที่วัดได้ คือ 7.5 ซึ่งมีค่าเป็นกลางจึงไม่น่ามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำและอาหาร

ปริมาณโปรตีน ไขมัน เถ้า ความชื้น และคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ เป็นสารอาหารและพลังงานที่ปลาต้องการ จึงทำการวิเคราะห์เพื่อใช้ประโยชน์ด้านการสร้างสูตรอาหารตามปริมาณที่ปลาต้องการ ซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่าปริมาณโปรตีนที่ได้มีปริมาณสูงถึง 28.19 เปอร์เซ็นต์ ไขมันมีปริมาณ 0.64 เปอร์เซ็นต์ สำหรับเถ้าจะเป็นส่วนของอนินทรียวัตถุ ซึ่งแสดงถึงปริมาณธาตุอาหารในตะกอนโดยประมาณ มีปริมาณ 24.04 เปอร์เซ็นต์ ส่วนความชื้นในตะกอนเปียกที่นำมาจากโรงงานนั้น มีสูงถึง 91.26 จึงต้องทำการตากแห้ง เมื่อทำการหาความชื้นในตะกอนแห้งพบว่ามีความชื้น 7.46 เปอร์เซ็นต์

จากการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในตะกอน อันได้แก่ ตะกั่ว แคดเมียม นิกเกิล เหล็ก ทองแดง แมงกานีส และสังกะสี ซึ่งเหล็ก ทองแดง แมงกานีส และสังกะสี เป็นแร่ธาตุอาหารรองที่ปลาต้องการและ จากการทดลองพบว่า ปริมาณโลหะหนักอื่นที่พบอัน ได้แก่ ตะกั่ว แคดเมียม และนิกเกิลอยู่ในระดับต่ำที่ไม่น่าจะเป็นอันตราย

4.2 การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการและการเตรียมอาหาร

จากการวิเคราะห์ตะกอน พบว่าองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นอินทรียวัตถุ (Organic Matter) และมีโลหะหนักเจือปนอยู่ในปริมาณที่ต่ำ ดังนั้นจึงน่าจะสามารถนำตะกอนมาใช้เป็นส่วนประกอบหนึ่งในอาหารเลี้ยงปลาเพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิตได้ ซึ่งวัตถุดิบในการผลิตอาหารปลา ได้แก่ ปลาป่น กากถั่วเหลือง ข้าวโพด แป้งมันสำปะหลัง น้ำมันพืช พรีมิกซ์ (วิตามินผสม) และ DCP (Di-calciumphosphate) ในการทดลองได้ทำการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของวัตถุดิบต่างๆ และกากตะกอนที่ตากจนแห้ง แสดงผลดังตาราง 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงคุณค่าทางโภชนาการของตะกอนและวัตถุดิบในการผลิตอาหารเลี้ยงปลา

วัตถุดิบ	ร้อยละของส่วนประกอบทั้งหมด					
	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า	ความชื้น	เยื่อใย	คาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ (NFE)
ตะกอน	28.19	0.64	24.04	7.46	-	39.68
ปลาป่น	51.98	5.49	29.99	8.96	1.14	2.44
กากถั่วเหลือง	50.52	1.62	7.33	8.96	5.34	26.24
ข้าวโพด	5.40	2.16	2.36	9.06	3.47	77.55
แป้งมันสำปะหลัง	ND	0.45	2.02	6.99	0.27	90.27

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานวิจัยนี้ได้ใช้ตะกอนเป็นส่วนประกอบในอาหารเลี้ยงปลานิล (*Nile Tilapia*) โดยทำการเปรียบเทียบอัตราการเจริญเติบโตของปลานิลจากการเลี้ยงด้วยอาหารสูตรต่างๆ กัน ซึ่งแบ่งเป็น 4 สูตร (Treatment) ได้แก่

สูตรที่ 1 (T1) คือ อาหารกลุ่มควบคุม (Control)

สูตรที่ 2 (T2) มีตะกอนเป็นส่วนผสมร้อยละ 5

สูตรที่ 3 (T3) มีตะกอนเป็นส่วนผสมร้อยละ 10

สูตรที่ 4 (T4) มีตะกอนเป็นส่วนผสมร้อยละ 20

ในการเตรียมอาหารทั้ง 4 สูตรจะคำนวณให้มีปริมาณสารอาหารตรงตามความต้องการของสัตว์น้ำ ในตารางที่ 2.7 ซึ่งปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ในการทำอาหารทั้ง 4 สูตร แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงอัตราส่วนของวัตถุดิบที่ใช้ในอาหาร 4 สูตร

วัตถุดิบ	กลุ่มควบคุม	ตะกอน 5%	ตะกอน 10%	ตะกอน 20%
ปลาป่น	43.00	42.00	40.75	38.50
กากถั่วเหลืองป่น	14.50	12.75	11.50	8.00
ข้าวโพด	8.25	6.75	5.50	3.25
แป้งมันสำปะหลัง	26.75	26.00	24.75	22.75
น้ำมัน	6.50	6.50	6.50	6.50
พรีมิกซ์	0.50	0.50	0.50	0.50
DCP	0.50	0.50	0.50	0.50
กากตะกอน	-	5.00	10.00	20.00
รวม	100	100	100	100

เมื่อทำอาหารโดยใช้อัตราส่วนของวัตถุดิบดังตารางที่ 4.3 จะได้ปริมาณของสารอาหารแสดงดังตารางที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 แสดงคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร 4 สูตรที่ได้จากการคำนวณ

คุณค่าทางโภชนาการ	ร้อยละของส่วนประกอบทั้งหมด			
	กลุ่มควบคุม	ตะกอน 5%	ตะกอน 10%	ตะกอน 20%
โปรตีน	30.12	30.05	30.11	29.87
ไขมัน	9.82	9.34	9.21	9.04
ความชื้น	7.77	7.80	7.66	7.54
เถ้า	15.19	15.42	16.60	17.48
เยื่อใย	1.62	1.46	1.34	1.04
NFE	35.40	35.06	34.59	34.03
พลังงาน (Gloss Energy) (Kcal)	408.16	401.77	398.99	393.72
G : P Ratio	13.55	13.37	13.25	13.18

หมายเหตุ : วิธีการคำนวณแสดงได้ดังตารางที่ ค.1 ภาคผนวก ค

หลังจากทำการผสมอาหารตามปริมาณวัตถุดิบดังตารางที่ 4.3 แล้ว นำอาหารทั้ง 4 สูตรมาหาคุณค่าทางโภชนาการอีกครั้งเพื่อเป็นการตรวจสอบว่ามีปริมาณสารอาหารใกล้เคียงกับที่คำนวณไว้ในตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของอาหารทั้ง 4 สูตร แสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของอาหาร 4 สูตร

องค์ประกอบ	กลุ่มควบคุม	ตะกอน 5%	ตะกอน 10%	ตะกอน 20%
โปรตีน	29.36	30.57	31.44	29.10
ไขมัน	2.90	2.56	3.11	2.77
ความชื้น	4.67	4.14	6.63	4.50
เถ้า	17.49	18.48	19.32	20.09
เยื่อใย	1.62	1.46	1.34	1.04
NFE	43.96	42.79	38.16	42.50
รวม	100	100	100	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดลองเลี้ยงปลาโดยใช้อาหารทั้ง 4 สูตร

การทดลองนี้ได้ทำการเลี้ยงปลานิลด้วยอาหาร 4 สูตร (4 Treatment) สูตรละ 3 ซ้ำ (3 Replicate) ดังนั้นจึงใช้บ่อเลี้ยงปลารวมทั้งสิ้น 12 บ่อ โดยแต่ละบ่อจะเลี้ยงปลานิลด้วยจำนวนเริ่มต้น 40 ตัว

4.3.1 การเจริญเติบโตของปลานิล

จากการเลี้ยงปลานิลในบ่อคอนกรีตด้วยอาหารที่มีตะกอนเป็นส่วนประกอบ 0% 10% 15% และ 20% เป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่ามีอัตราการเจริญเติบโตดังนี้

ตารางที่ 4.6 แสดงน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นต่อวัน (DWG) ของปลานิลหนึ่งตัวในแต่ละช่วงการเลี้ยง (P>0.05)

ระยะเวลาที่เลี้ยง (วัน)	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม/ตัว/วัน)			
	กลุ่มควบคุม	ตะกอน 5%	ตะกอน 10%	ตะกอน 20%
0 – 16	0.53±0.12	0.37±0.23	0.37±0.16	0.40±0.09
17 – 31	1.43±0.17	1.58±0.30	1.61±0.28	1.67±0.08
32 – 46	1.20±0.34	1.14±0.16	1.56±0.53	1.31±0.34
47 – 57	0.67±0.44	1.33±0.91	0.89±0.29	0.67±0.60
เฉลี่ย	0.96±0.21	1.17±0.29	1.11±0.28	1.01±0.24

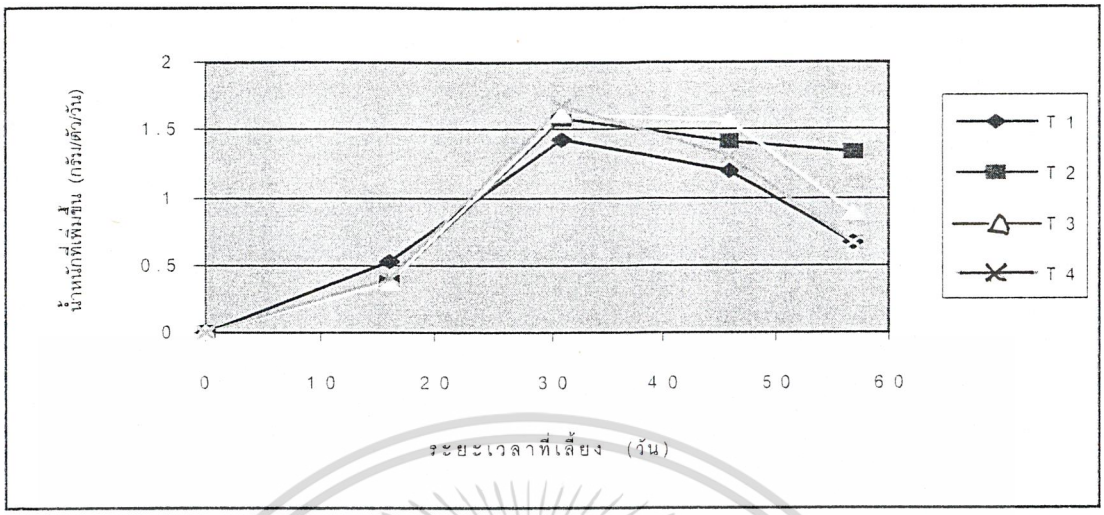
หมายเหตุ : ± คือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ข้อมูลดิบแสดงดังตารางที่ ค.8 ในภาคผนวก ค

$$\text{น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นต่อวัน (Diary Weight Gain ; DWG) (กรัม/วัน)} = \frac{\text{น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น}}{\text{ระยะเวลาที่เลี้ยง}}$$

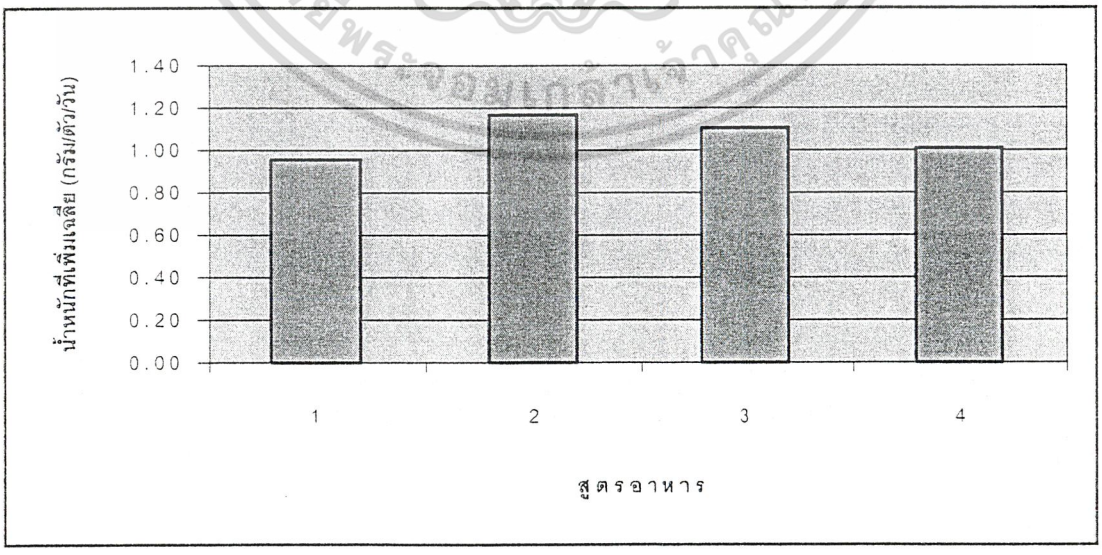
จากตารางที่ 4.6 สามารถเขียนเป็นกราฟแสดงน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นต่อวัน (DWG) ของปลานิลในแต่ช่วงเวลาที่ทำการเลี้ยง แสดงได้ดังรูปที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 แสดงน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นต่อวันของปลานิลหนึ่งตัวในแต่ละช่วงการเลี้ยง

จากรูปที่ 4.1 จะเห็นได้ว่ามีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นต่อวันต่อหนึ่งตัว (DWG) มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในช่วงการสุ่มชั่งวัดครั้งที่ 2 (31 วันแรก) ในทุกสูตรอาหาร หลังจากการเลี้ยงในสัปดาห์ที่สองแล้วอัตราการเพิ่มของน้ำหนักตัวของปลามีแนวโน้มลดต่ำลงในทุกสูตรอาหาร โดยสูตรที่ 2 ซึ่งมีตะกอนเป็นส่วนประกอบ 5% มีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นต่อวันสูงที่สุด แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นต่อวันของปลานิลหนึ่งตัวในแต่ละช่วงการเลี้ยงด้วยอาหารทั้ง 4 สูตร ไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$)



รูปที่ 4.2 แสดงน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นต่อวัน (DWG) ของปลานิลหนึ่งตัวเฉลี่ยตลอดการเลี้ยงในอาหารแต่ละสูตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อให้เห็นความชัดเจนของน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นต่อวันต่อหนึ่งตัว (DWG) จึงนำมาหาค่าเฉลี่ยตลอดการเลี้ยง แสดงได้ดังรูปที่ 4.2 ซึ่งจะเห็นได้ว่าอาหารที่มีตะกอนเป็นส่วนผสม 5% มีผลทำให้ค่า DWG สูงที่สุด รองลงมาคือสูตรที่มีตะกอนเป็นส่วนผสม 10% 20% และอาหารกลุ่มควบคุม (0%) ตามลำดับ แต่ทั้งนี้ค่า DWG เนื่องจากการเลี้ยงด้วยอาหารทั้ง 4 สูตรพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05)

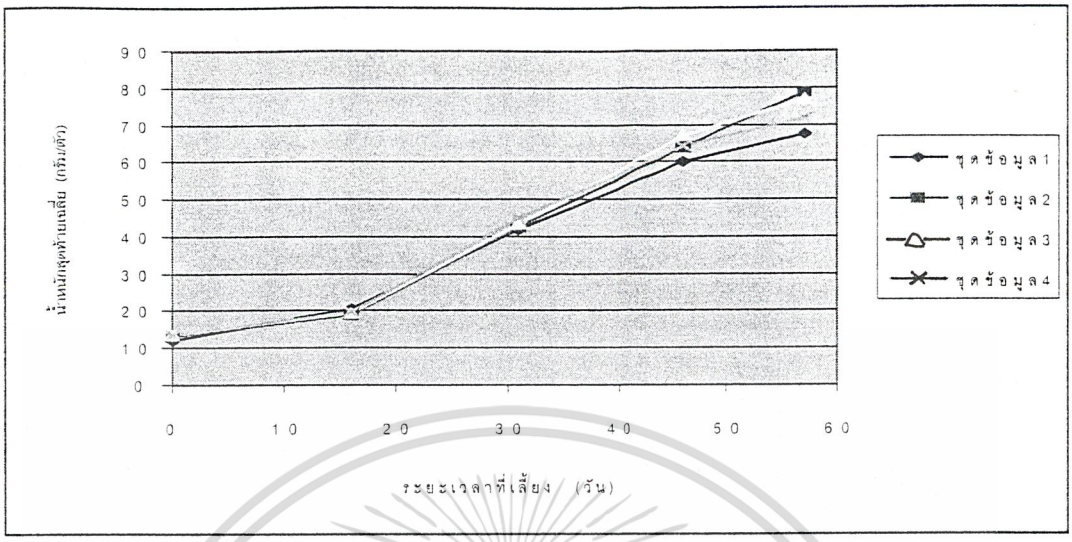
ตารางที่ 4.7 แสดงน้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ยของปลานิลหนึ่งตัวในแต่ละช่วงการเลี้ยง

ระยะเวลาที่เลี้ยง (วัน)	น้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ย (กรัม/ตัว)			
	กลุ่มควบคุม	ตะกอน 5%	ตะกอน 10%	ตะกอน 20%
0 – 16	20.52±1.65	19.06±3.23	19.42±2.69	19.83±1.38
17 – 31	42.03±3.22	42.76±7.61	43.50±6.14	44.83±2.08
32 – 46	60.06±7.55	63.98±9.44	66.93±13.11	64.42±5.45
47 – 57	67.48±10.01	78.61±14.23	76.68±15.93	71.83±11.53

หมายเหตุ : ± คือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

น้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ยคือน้ำหนักที่ได้จากการชั่งน้ำหนักปลาในการชั่งแต่ละครั้ง ซึ่งจากการทดลองได้ทำการชั่งเมื่อมีระยะเวลาการเลี้ยงวันที่ 16 31 46 และ 57 ตามลำดับ ค่าที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.7 และเพื่อให้เห็นชัดเจนยิ่งขึ้นจึงนำมาเขียนกราฟดังรูปที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าในการเลี้ยงปลานิลด้วยอาหารทั้ง 4 สูตร ส่งผลให้น้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ยมีแนวโน้มที่สูงขึ้นใกล้เคียงกัน โดยในการชั่งน้ำหนักครั้งสุดท้ายพบว่า อาหารที่มีตะกอนเป็นส่วนผสม 5% มีน้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ยสูงที่สุด รองลงมาคืออาหารที่มีตะกอนเป็นส่วนผสม 10% 20% และกลุ่มควบคุม (0%) ตามลำดับ แต่ในทุกกลุ่มไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แสดงน้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ยของปลานิลหนึ่งตัวในแต่ละช่วงการเลี้ยง

4.3.2 อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR)

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) คือค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการเปลี่ยนอาหารที่ปลากินเข้าไปให้กลายเป็นเนื้อปลา ถ้าค่า FCR น้อยถือว่าดี เนื่องจากการกินอาหารในปริมาณน้อยแต่สามารถเปลี่ยนเป็นเนื้อได้ดี ค่า FCR คำนวณได้ดังนี้

$$\text{อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (Feed Conversion Ratio ; FCR)} = \frac{\text{ปริมาณอาหารที่กิน}}{\text{น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น}}$$

ในการช่วงการทดลองเป็นเวลา 8 สัปดาห์นี้ พบว่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อปลามีค่าสูงที่สุดเมื่อเลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 1 คือไม่มีตะกอนเป็นส่วนประกอบ รองลงมาคือสูตรที่มีตะกอนเป็นส่วนผสมร้อยละ 20 , 10 และ 15 ตามลำดับ แต่ค่า FCR ของทั้ง 4 สูตรอาหารไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) ค่า FCR ที่ได้จากการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.8

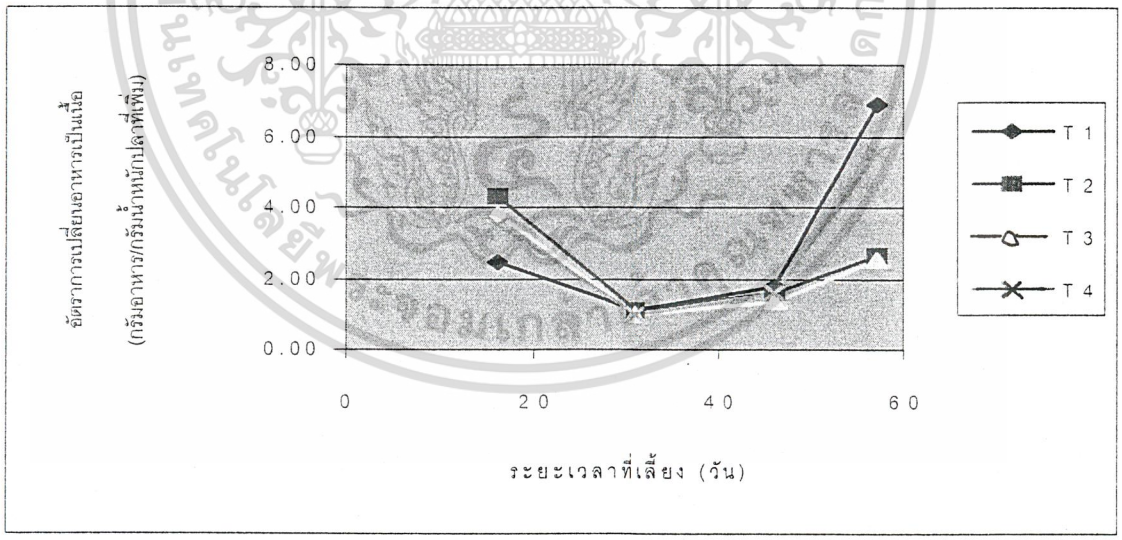
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 แสดงอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) ในแต่ละช่วงการเลี้ยง

ระยะเวลาที่เลี้ยง (วัน)	อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อต่อปลาหนึ่งตัว			
	กลุ่มควบคุม	ตะกอน 5%	ตะกอน 10%	ตะกอน 20%
0 – 16	2.45±0.42	4.92±3.86	3.81±1.46	3.35±0.99
17 – 31	1.09±0.07	1.09±0.21	1.00±0.18	0.99±0.01
32 – 46	1.81±0.43	1.60±0.13	1.36±0.33	1.57±0.32
47 – 57	6.90±7.48	2.56±1.64	2.50±1.13	5.51±4.33
เฉลี่ยตลอดการเลี้ยง	3.06±1.93	2.54±0.96	2.17±0.73	2.86±1.27

หมายเหตุ : ± คือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

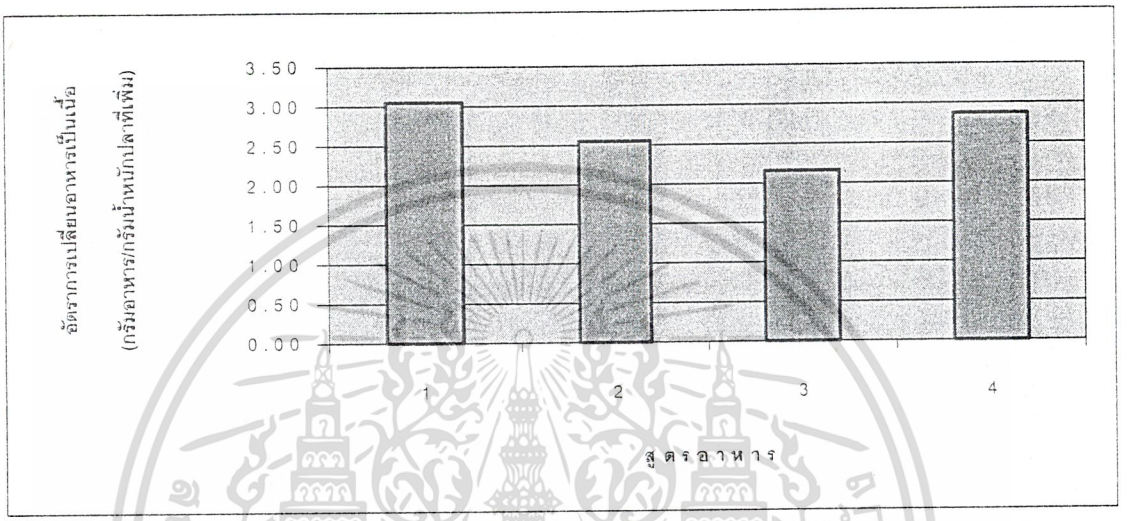
จากข้อมูลในตารางที่ 4.8 นำมาเขียนกราฟได้ดังรูป 4.4 ซึ่งเห็นได้ว่าในช่วงแรกของการเลี้ยง ค่า FCR มีแนวโน้มลดลงจนถึงการชั่งวัดน้ำหนักครั้งที่ 2 (วันที่ 31 ของการเลี้ยง) เนื่องจากในช่วงแรกปลามีขนาดเล็ก อาหารที่กินเข้าไปส่วนใหญ่จะใช้เพื่อการเจริญเติบโตของปลา แต่เมื่อปลามีการเจริญเติบโตสูงขึ้นในระยะหนึ่ง จะส่งผลให้อาหารที่กินเข้าไปถูกใช้ในด้านอื่นมากขึ้น เช่น ใช้ในการหายใจ



รูปที่ 4.4 แสดงอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อในแต่ละช่วงการเลี้ยง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการหาค่าเฉลี่ยของ FCR ตลอดการทดลองแล้วพบว่า สามารถเรียงลำดับจาก FCR ที่มีค่าน้อยไปมากได้ดังนี้ ตะกอน 10% 5% 20% และกลุ่มควบคุม (ตะกอน 0%) ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าอาหารที่มีตะกอน 10% มีอัตราการเปลี่ยนเป็นเนื้อดีที่สุด แต่จากการคำนวณทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05)



รูปที่ 4.5 แสดงอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อเฉลี่ยตลอดการเลี้ยงในแต่ละสูตรอาหาร

4.3.2 อัตรารอด

$$\text{อัตรารอด (Survival Rate)} = \frac{\text{จำนวนปลาที่เหลือรอด}}{\text{จำนวนปลาที่ปล่อยเลี้ยง}} \times 100$$

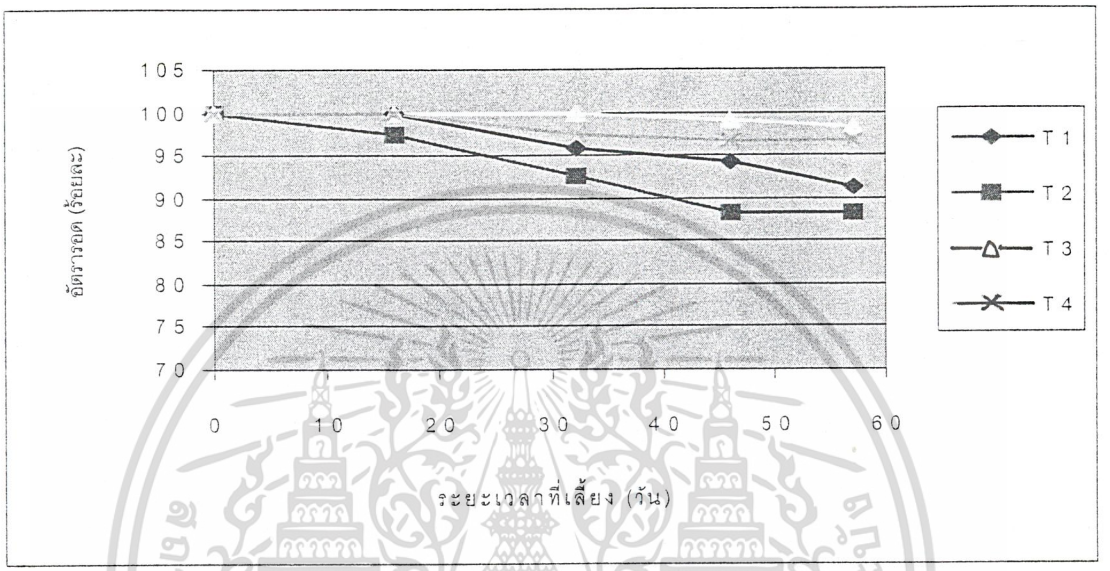
ตารางที่ 4.9 แสดงอัตราการรอดตายของปลานิลในแต่ละช่วงการเลี้ยง

ระยะเวลาที่เลี้ยง (วัน)	อัตราการรอด (ร้อยละ)			
	กลุ่มควบคุม	ตะกอน 5%	ตะกอน 10%	ตะกอน 20%
0 (เริ่มต้น)	100.00	100.00	100.00	100.00
1 – 16	100.00	97.50	100.00	100.00
17 – 31	95.83	92.50	100.00	97.50
32 – 46	94.17	88.33	99.17	96.67
47 – 57	91.25	88.33	98.33	96.67

หมายเหตุ : ± คือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าอัตราการรอดตายของปลานิลตลอดการทดลอง 8 สัปดาห์ มีแนวโน้มลดต่ำลงแตกต่างกัน โดยในอาหารสูตรที่ 3 ซึ่งมีตะกอนเป็นส่วนประกอบ 10% มีอัตราการรอดสูงที่สุด รองลงมาคือสูตรที่ 4 , 1 และ 2 ซึ่งมีตะกอนเป็นส่วนประกอบ 20% , 0% และ 5% ตามลำดับ แต่เมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติแล้ว พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05)



รูปที่ 4.6 แสดงอัตราการรอดตายของปลานิลในแต่ละช่วงการเลี้ยง

เนื่องจากอาหารทั้ง 4 สูตรส่งผลต่ออัตราการเจริญเติบโตที่ไม่แตกต่างกัน ฉะนั้นในทางปฏิบัติอาจเลือกใช้อาหารสูตร 4 ที่มีตะกอน 20% เป็นอาหารในการเลี้ยงปลา เพื่อเป็นการลดต้นทุนในด้านราคาของวัตถุดิบตัวอื่นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลา

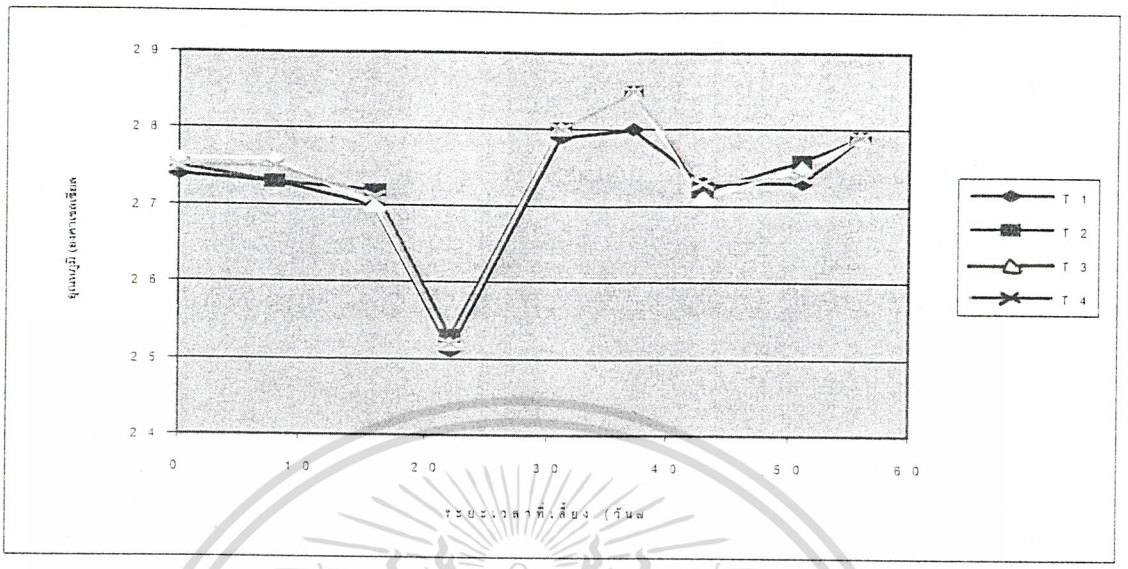
คุณภาพของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาย่อมมีความสำคัญต่อการอยู่รอดของปลา ในการทดลองนี้ได้ทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำทุกสัปดาห์ โดยก่อนการเปลี่ยนถ่ายน้ำจะทำการตรวจวัดอุณหภูมิ พีเอช (pH) ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำได้ (DO) และเก็บตัวอย่างน้ำสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณฟอสเฟตที่ละลายน้ำได้ (SRP) แอมโมเนีย (NH_3-N) ไนไตรท์ (NO_2-N) ไนเตรท (NO_3-N) และความเป็นด่างของน้ำ (Alkalinity) แสดงผลได้ดังตารางที่ 4.10 ซึ่งค่าที่ได้ส่วนใหญ่ไม่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากลักษณะการเลี้ยงจะเลี้ยงในบ่อคอนกรีต จึงทำให้ไม่มีแพลงค์ตอนเจริญเติบโตโดยระหว่างการเลี้ยงได้ทำการสังเกตและพบว่าไม่มีสีเขียวของพวกแพลงค์ตอน ส่งผลให้ไม่มีตัวช่วยดูดซับพวกสารอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและสารอินทรีย์ต่างๆ ที่อาจตกค้างมาจากการกินอาหารไม่หมดของปลา แต่อย่างไรก็ตามปลาก็ยังสามารถเจริญเติบได้เนื่องจากปลานิลเป็นปลาที่ทนต่อสภาพแวดล้อมได้ดี สามารถมีชีวิตอยู่ได้ในช่วงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิกว้างมากคือ 11 – 42 องศาเซลเซียส และค่าพีเอชประมาณ 6.5 – 5.5 ซึ่งปลานิลจะเริ่มตาย และปริมาณออกซิเจนที่ละลายได้ในน้ำต่ำสุดที่ปลานิลทนได้คือ 0.8 – 1.2 mg/L (ไมตรี 32:4) ส่วนคุณภาพน้ำตลอดการเลี้ยงในแต่ละพารามิเตอร์แสดงได้ดังรูป 4.7 – 4.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 สรุปผลคุณภาพน้ำที่เลี้ยงปลานิล

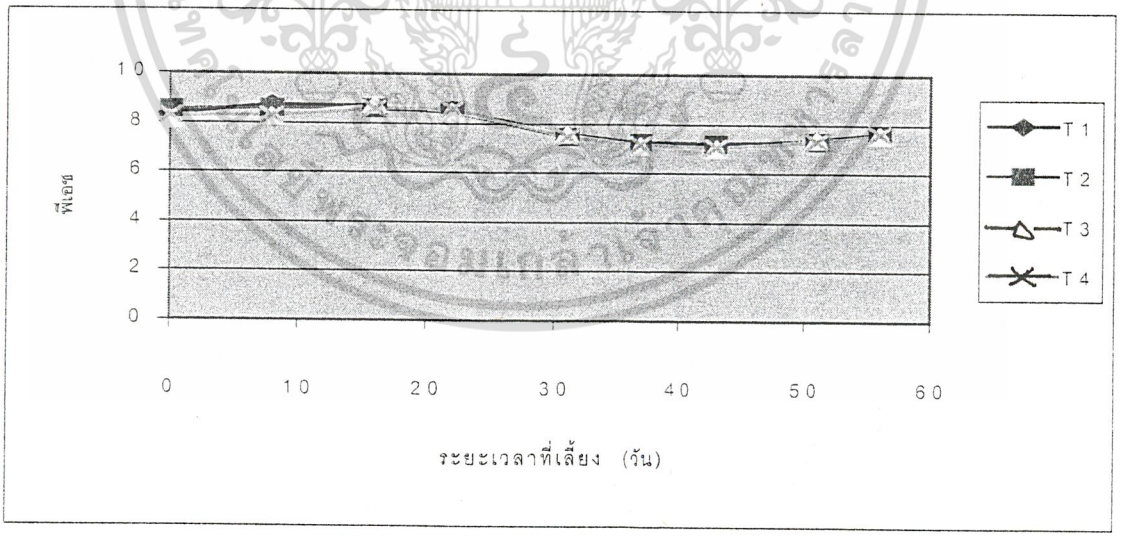
คุณภาพน้ำ	กลุ่มควบคุม		ตะกอน 5%		ตะกอน 10%		ตะกอน 20%	
	Average	Range	Average	Range	Average	Range	Average	Range
Temperature	27.22	25.1-28.0	27.41	25.3-28.5	27.4	25.2-28.5	27.4	25.2-28.5
pH	7.85	7.06-8.74	7.82	7.24-8.60	7.77	7.03-8.72	7.76	7.06-8.59
DO	4.71	2.07-8.06	4.41	2.47-8.78	4.57	2.12-8.18	4.41	2.01-7.26
SRP	0.82	0.00-1.29	0.66	0.00-0.86	0.75	0.00-1.03	0.6	0.00-0.86
NH3	0.16	0.00-0.02	0.16	0.00-0.4	0.14	0.00-0.48	0.15	0.00-0.45
NO2-	1.27	0.00-3.35	0.73	0.00-1.78	1.27	0.00-2.93	1.43	0.00-3.03
NO3-	15.61	0.04-27.97	9.92	0.03-21.48	14.03	0.02-27.26	16.2	0.02-29.56
Alkalinity	181.91	115.34-251.33	203.32	116.88-256.67	189.68	118.01-233.33	165.42	115.07-212.67

หมายเหตุ : ข้อมูลในตารางที่ 4.10 ได้จากการสรุปข้อมูลในตารางที่ ง.3 - ง.10 ในภาคผนวก ง



รูปที่ 4.7 แสดงอุณหภูมิของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาตลอดระยะเวลาการเลี้ยง

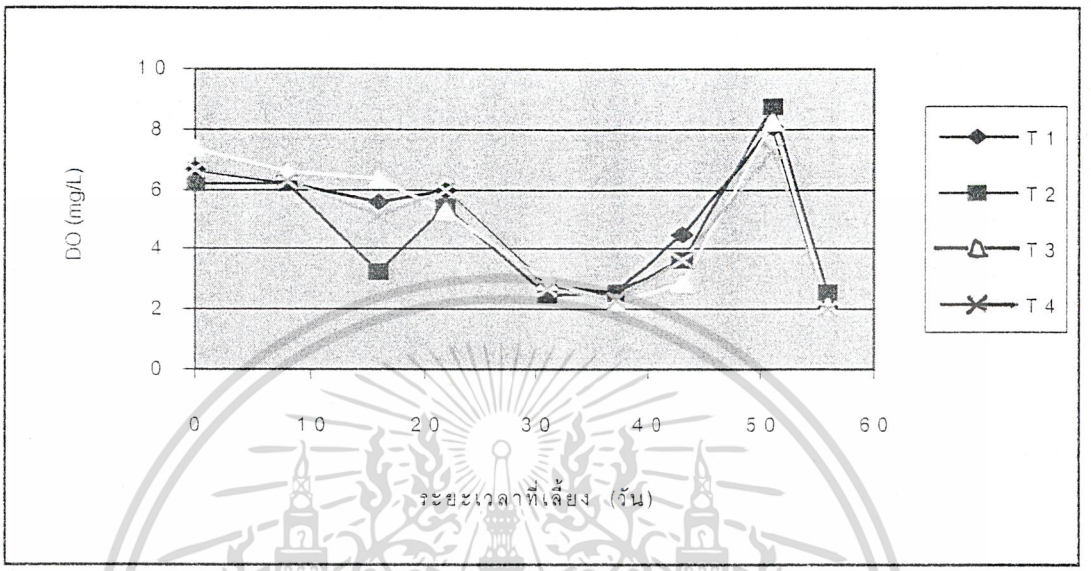
โดยปกติอุณหภูมิของน้ำจะแปรเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิของอากาศ ซึ่งขึ้นอยู่กับฤดูกาล ระดับความสูงและสภาพภูมิประเทศ



รูปที่ 4.8 แสดงพีเอชของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาตลอดระยะเวลาการเลี้ยง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

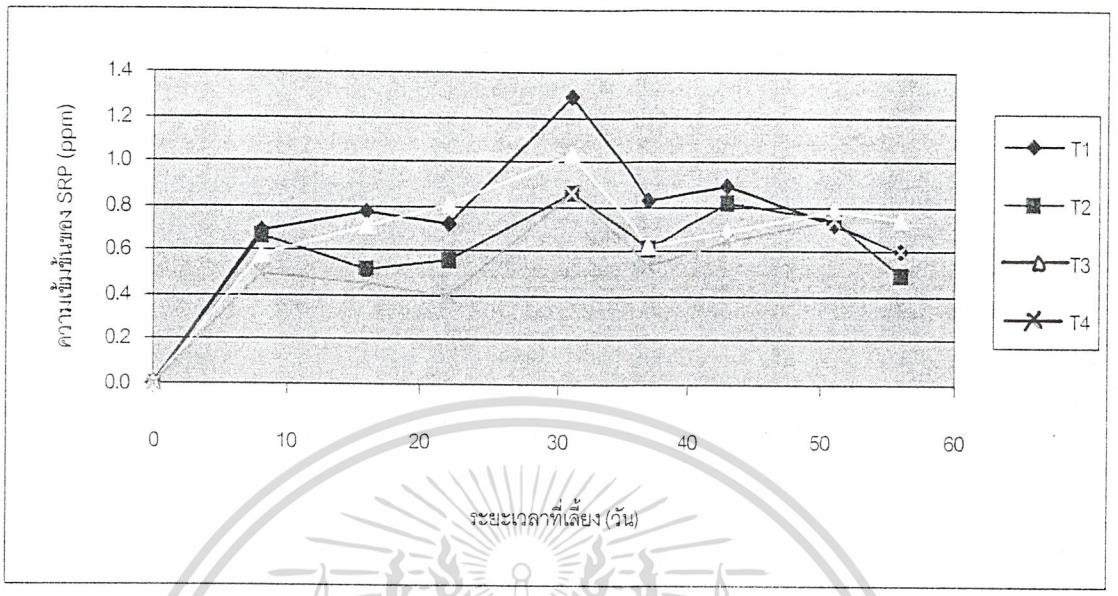
พีเอชมีค่าใกล้เคียงกันตลอดการทดลอง โดยค่าพีเอชของทุกกลุ่มอยู่ในช่วง 7.03 – 8.74 ซึ่งอยู่ในระดับที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำคืออยู่ในช่วงระหว่าง 6.5 – 9 (ประเทือง , 2534)



รูปที่ 4.9 แสดงปริมาณ DO ของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาตลอดระยะเวลาการเลี้ยง

จากกราฟจะเห็นได้ว่าค่า DO มีค่าอยู่ในช่วงกว้างไม่คงที่ โดยในการวัดบางครั้งพบว่าค่า DO มีปริมาณต่ำมาก แต่ปลานิลยังสามารถมีชีวิตอยู่ได้ อันเนื่องมาจากปลานิลเป็นปลาที่มีความทนต่อสภาพแวดล้อมสูง

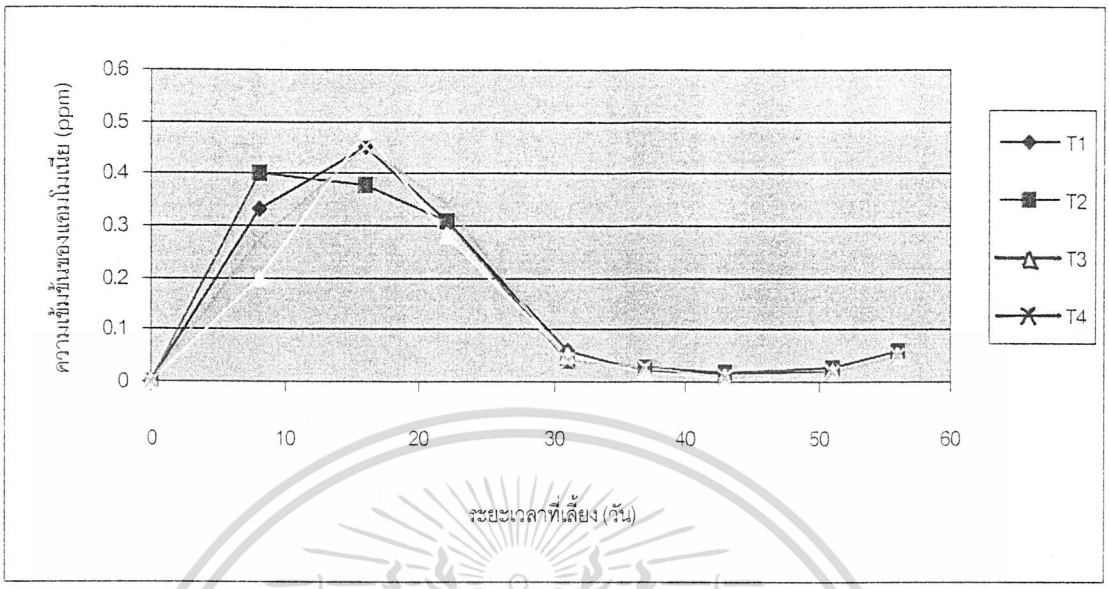
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 แสดงปริมาณ SRP ของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาตลอดระยะเวลาการเลี้ยง

ค่า SRP หรือฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้ เป็นธาตุอาหารที่มีความจำเป็นต่อพืช โดยเฉพาะแพลงค์ตอนพืชสามารถเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว หากแหล่งน้ำมีฟอสฟอรัสสูงกว่า 0.1 mg/L จัดว่ามีอาหารธรรมชาติมากเกินไป และแหล่งน้ำที่มีปัญหามลภาวะจะมีฟอสฟอรัสสูงถึง 0.6 mg/L แต่อย่างไรก็ตาม ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำไม่ได้ทำให้เกิดเป็นพิษ เพียงแต่เป็นตัวการทำให้อัตราการเจริญเติบโตของพืชน้ำสูง สำหรับผลการทดลองพบว่ามีปริมาณ SRP ค่อนข้างสูง อาจเนื่องมาจากเป็นการเลี้ยงปลาในบ่อคอนกรีตในที่ร่ม ส่งผลให้สภาพไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแพลงค์ตอนพืชซึ่งใช้ SRP เป็นธาตุอาหาร

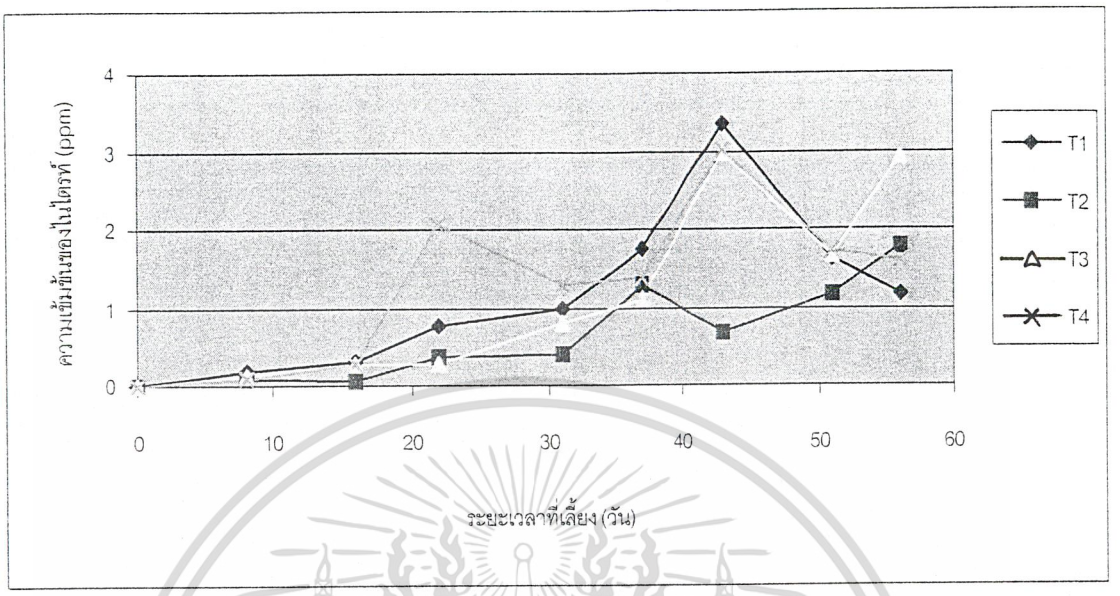
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 แสดงปริมาณแอมโมเนียของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาตลอดระยะเวลาการเลี้ยง

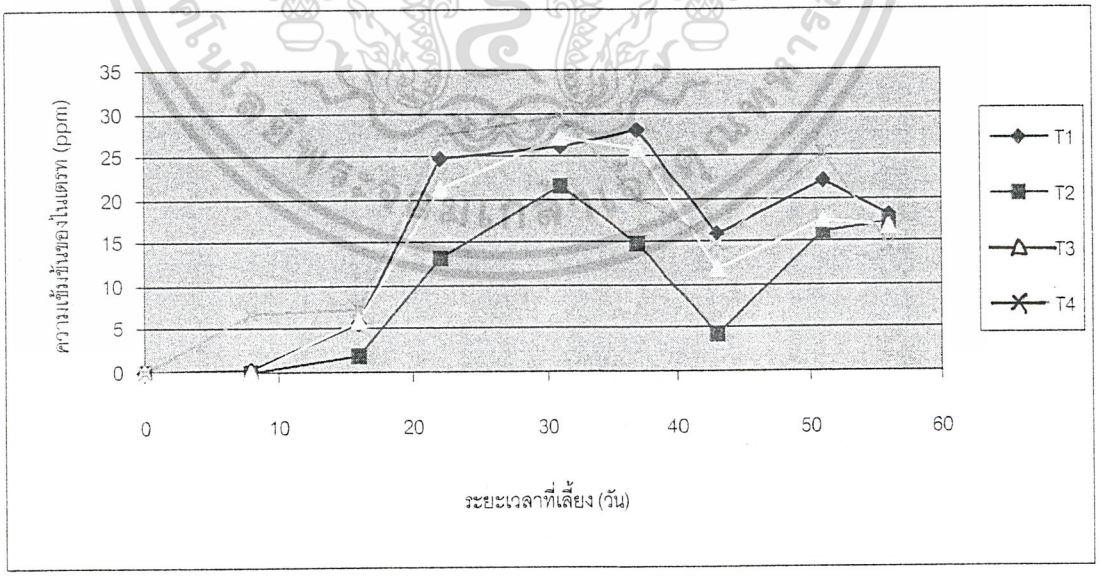
แอมโมเนียที่เป็นพิษอยู่ในรูป Un-ionized (NH_3) การให้อาหารที่มีโปรตีนสูงในบ่อเลี้ยงปลา เศษอาหารหรือของเสียที่มีอยู่จะทำให้ปริมาณแอมโมเนียในน้ำสูงขึ้น ในการทดลองพบว่าปริมาณแอมโมเนียอยู่ในระดับที่สูงกว่ามาตรฐานมาก (0.02 mg/L) ซึ่งอาจเนื่องมาจากการมีเศษอาหารและของเสียจากปลาแขวนลอยอยู่ในบ่อเป็นจำนวนมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 แสดงปริมาณไนไตรท์ของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาตลอดระยะเวลาการเลี้ยง

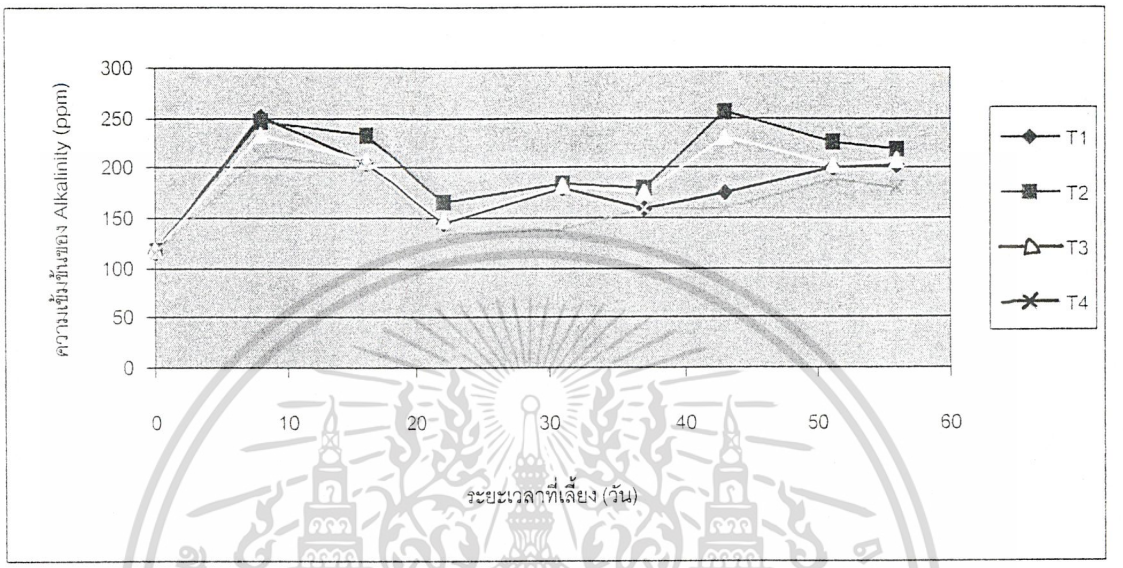
ไนไตรท์เป็นสารประกอบไนโตรเจนอีกตัวหนึ่งที่มีพิษต่อสัตว์น้ำสูง และปริมาณไนไตรท์ที่วัดได้ก็มีค่าที่สูงมาก



รูปที่ 4.13 แสดงปริมาณไนเตรทของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาตลอดระยะเวลาการเลี้ยง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไนเตรทมีความสำคัญต่อการเจริญของแพลงค์ตอนพืชและพืชน้ำ ทางด้านการประมงไนเตรทไม่ถือว่าเป็นพิษต่อสัตว์น้ำโดยตรง นอกจากจะมีความเข้มข้นสูงมาก แต่อาจจะทำให้เกิดปัญหาทางอ้อมในกรณีที่ไนเตรทได้เปลี่ยนสภาพมาจากไนไตรท์และแอมโมเนีย ผลการทดลองตรวจพบไนเตรทปริมาณสูง



รูปที่ 4.14 แสดงปริมาณ Alkalinity ของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาตลอดระยะเวลาการเลี้ยง

คุณสมบัติที่สำคัญต่อความเป็นด่างของแหล่งน้ำคือเป็นตัวช่วยควบคุมไม่ให้แหล่งน้ำมีการเปลี่ยนแปลงพีเอชรวดเร็วเกินไป ถ้าค่าความเป็นด่างสูงจะป้องกันไม่ให้ค่าพีเอชเปลี่ยนแปลงมาก ถ้าค่าความเป็นด่างต่ำ การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในรอบวันจะเปลี่ยนแปลงรวดเร็วซึ่งเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ โดยปกติในบ่อเลี้ยงปลาอาจมีค่าความเป็นด่างอยู่ระหว่าง 50 – 300 mg/L จากการวิเคราะห์พบว่าค่าปริมาณ Alkalinity อยู่ในช่วงของมาตรฐานที่ยอมรับได้

4.3 การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักก่อนและหลังเลี้ยง

จากการนำเนื้อปลามาทำการวิเคราะห์โลหะหนัก ได้แก่ ตะกั่ว (Pb) แคดเมียม (Cd) นิกเกิล (Ni) เหล็ก (Fe) ทองแดง (Cu) แมงกานีส (Mn) และสังกะสี (Zn) ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ จ.1 และ จ.2 ในภาคผนวก จ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 แสดงปริมาณโลหะหนักในเนื้อปลาก่อนและหลังเลี้ยง

ชนิดของโลหะหนัก	ปริมาณโลหะหนักในเนื้อปลาหลังเลี้ยง (ppm)				
	ก่อนเลี้ยง	กลุ่มควบคุม	ตะกอน 5%	ตะกอน 10%	ตะกอน 20%
Pb	-	-	-	-	-
Cd	-	-	-	-	-
Ni	0.084±0.008	0.148±0.033	0.113±0.006	0.129±0.002	0.186±0.100
Fe	0.234±0.036	0.193±0.017	0.122±0.004	0.120±0.006	0.131±0.003
Mn	-	-	-	-	-
Zn	0.220±0.009	0.121±0.003	0.106±0.007	0.103±0.004	0.106±0.004

หมายเหตุ : ± คือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

โลหะหนักบางชนิดไม่สามารถตรวจพบได้ทั้งก่อนและหลังเลี้ยง ได้แก่ Pb Cd และ Mn ส่วนปริมาณโลหะหนักที่วิเคราะห์ได้ก็พบในปริมาณน้อย และเมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างปริมาณโลหะหนักก่อนและหลังเลี้ยง พบว่ามีปริมาณใกล้เคียงกัน โดย Ni มีปริมาณเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในทุกสูตรอาหาร Fe และ Zn มีปริมาณลดลง สำหรับ Fe และ Zn อาจลดลงเนื่องจากเป็นธาตุอาหารรองที่ปลาต้องการ จึงอาจลดลงเนื่องจากการที่ปลานำไปใช้ประโยชน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย

จากการทดลองสามารถบอกได้ว่าในตะกอนมีสารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของปลา ได้แก่ โปรตีน ไขมัน ความชื้น เถ้า คาร์โบไฮเดรต พีเอช อินทรียวัตถุ และปริมาณโลหะหนัก (Pb Cd Ni Fe Mn Zn) ซึ่งบางตัวเป็นแร่ธาตุอาหารของปลาได้ (Mn Fe Zn) บางตัวเป็นโลหะหนักที่เป็นอันตรายต่อปลา (Pb Cd Ni) แต่ตรวจพบในปริมาณที่น้อยมาก ฉะนั้นจากคุณสมบัติเหล่านี้ ตะกอนจึงน่าจะนำไปใช้ในการทำอาหารเลี้ยงปลานิลได้

5.2 การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของวัตถุดิบ

ในการผลิตอาหารเลี้ยงปลาจะทำการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของวัตถุดิบ ซึ่งในที่นี้คือ ปลาป่น ข้าวโพด กากถั่วเหลือง และแป้งมันสำปะหลัง เมื่อนำค่าที่วิเคราะห์ได้ไปเทียบกับค่าทั่วไป พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน และหลังจากที่นำมาทำเป็นอาหารเม็ดแล้ววิเคราะห์อีกครั้งพบว่ามีค่าใกล้เคียงกับความต้องการอาหารของปลา

5.3 การทดลองเลี้ยงปลาโดยใช้อาหารทั้ง 4 สูตร

จากการทดลองเลี้ยงเป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าอาหารสูตรที่ 2 จะให้น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นต่อวันต่อหนึ่งตัว (DWG) สูงกว่าสูตรอื่นๆ แต่เมื่อนำมาวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นต่อวันต่อตัว (DWG) ของอาหารทั้ง 4 สูตรไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) กล่าวคือน้ำหนักเฉลี่ยสุดท้ายของปลานิลหนึ่งตัวในแต่ละสูตรอาหารจะมีค่าใกล้เคียงกันตลอดการทดลอง

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) พบว่าอาหารสูตรที่ 3 ให้อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อดีที่สุด รองลงมาคือ อาหารสูตรที่ 2 4 และ 1 แต่อย่างไรก็ตาม จากการคำนวณทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$)

อัตรารอด (Survival Rate) จากการเลี้ยงปลาด้วยอาหารทั้ง 4 สูตรพบว่าปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 3 มีอัตราการตายน้อยที่สุด รองลงมาคือ อาหารสูตรที่ 4 1 และ 2 ตามลำดับ แต่จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างกัน

เนื่องจากอาหารทั้ง 4 สูตรส่งผลต่อการเจริญเติบโตไม่แตกต่างกัน ฉะนั้นในทางปฏิบัติ อาจเลือกใช้อาหารสูตร 4 ในการเลี้ยงที่มีตะกอนเป็นส่วนผสม 20% เพื่อเป็นการลดต้นทุนในด้านราคาของวัตถุดิบตัวอื่นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลา

ในการทดลองนี้ วิเคราะห์คุณภาพน้ำ 8 พารามิเตอร์คือ อุณหภูมิ พีเอช DO SRP แอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท และ Alkalinity โดยทำการวิเคราะห์และเปลี่ยนถ่ายน้ำทุกสัปดาห์ ซึ่งค่าที่ได้ส่วนใหญ่ไม่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน แต่อย่างไรก็ตาม ปลาสามารถเจริญเติบโตได้เนื่องจากปลานิลเป็นปลาที่สามารถทนต่อสภาพแวดล้อมได้ดี

5.5 การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในตัวปลา

จากการนำส่วนของเนื้อปลาไปทำการวิเคราะห์โลหะหนัก ได้แก่ Pb Cd Ni Fe Mn และ Zn พบว่าในเนื้อปลาก่อนการเลี้ยงมีโลหะสะสมอยู่ในปริมาณต่ำและบางชนิดก็ไม่สามารถตรวจวัดได้ หลังจากเมื่อทำการเลี้ยงแล้ว โลหะหนักบางชนิดมีปริมาณลดลง (Fe และ Zn) ซึ่งอาจเนื่องมาจากเป็นธาตุอาหารรองที่ปลาสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ส่วน Ni ถูกพบในปริมาณมากขึ้นเล็กน้อยแต่อยู่ในระดับที่ไม่น่าจะเป็นอันตราย สำหรับ Pb Cd และ Mn ไม่สามารถตรวจวัดได้ทั้งก่อนและหลังการเลี้ยงปลา

ข้อเสนอแนะ

1. ในการวิจัยนี้ พบว่าปริมาณตะกอนที่ใช้เป็นส่วนผสมของอาหารเลี้ยงปลานิลในระดับ 5% 10% และ 20% ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับอาหารกลุ่มควบคุม (ไม่มีตะกอนเป็นส่วนผสม) ในด้านการเจริญเติบโตและปริมาณโลหะหนักในเนื้อปลา ดังนั้นจึงอาจทำการเพิ่มปริมาณตะกอนให้สูงมากขึ้นในการทดลองต่อไป

2. การวิเคราะห์โลหะหนักในตัวปลา อาจทำการวิเคราะห์ส่วนประกอบอื่นๆเพิ่มเติมนอกจากเนื้อปลา เช่น ตับของปลาที่เป็นแหล่งกรองสารพิษ แต่งานวิจัยนี้วิเคราะห์เพียงเนื้อปลาเนื่องจากข้อจำกัดด้านเวลาและเห็นว่าการบริโภคของมนุษย์มักบริโภคเนื้อเป็นส่วนใหญ่

3. เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนในตะกอนแล้ว ควรวิเคราะห์ชนิดของโปรตีนในตะกอนด้วยเพื่อให้ทราบว่ามีกรดอะมิโนที่จำเป็น (Essential Amino Acid) ที่ปลาสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ อยู่มากน้อยเพียงใด

4. อาจเพิ่มระยะเวลาในการเลี้ยงให้มากกว่าในการทดลองนี้ เพื่อให้เห็นผลการทดลองที่ชัดเจนยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กรองแก้ว ทิพยศักดิ์ และพิสมัย ชัยรัตน์อุทัย. **ปฏิบัติการเคมีสิ่งแวดล้อม.** กรุงเทพฯ : ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2541.

กลุ่มเกษตรกรสัญจร. **ปลาที่เลี้ยงง่าย.** กรุงเทพฯ : สหมิตร, 2530.

"การกำจัดสารพิษในมันสำปะหลังด้วยวิธีชีวภาพ," **วารสารจาร์พา การพัฒนาและการวิเคราะห์.** 2539(25) : 41 ; พฤษภาคม 2539.

การพัฒนาการเพาะเลี้ยงปลานิล. สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด กรมประมง ,2536

จุฑารัตน์ แสงกุล. **ผลของความถี่ในการให้อาหารต่อการเติบโตของปลานิลแดง** , ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง . 2543.

ประเทือง เชาว์วันกลาง. **คุณภาพน้ำทางการประมง.** แผนกประมง คณะวิชาสัตวศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตลำปาง , 2543.

ประเสริฐ สีตะสิทธิ์ และคณะ. **อาหารปลา.** สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ กองประมงน้ำจืด กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2525.

เพิ่มพูน ศักดิ์เกษม. **ปลานิล.** กรุงเทพฯ : ศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาอาชีพการเกษตร, 2531.

ภาสกร อินทรเรืองศรี. **ผลของระดับโปรตีนในอาหารที่ต่างกันต่อการเติบโตของลูกปลาแรด** , ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ ทหารลาดกระบัง. 2543.

มนตรี เพ็ชรทองคำ. **พืชเศรษฐกิจ.** กรุงเทพฯ : บริษัทประชาชนจำกัด, 2528.

ไมตรี ดวงสวัสดิ์. "คุณสมบัติของน้ำกับการเลี้ยงปลา," **วารสารการประมง.** 32(4) : 145 – 419.

วุฒิพร พรหมขุนทอง และเพิ่มสุข ศรีพลอย. "การใช้มูลไก่ไข่แทนที่อาหารบางส่วนที่ใช้เลี้ยงปลานิล," **วารสารสงขลานครินทร์.** 10(2) : 187-194 ; เมษายน - มิถุนายน 2531.

ศักดิ์ชัย ชูโชติ. **การเลี้ยงปลาน้ำจืด.** กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์, 2536.

อิทธิพร จันเพ็ญ. **อาหารและการให้อาหารปลา,กุ้ง.** กรุงเทพฯ : ช่อนนทรี, 2532.

E. Boyd Claude. **Water Quality in Ponds for Aquaculture.** Department of Fisheries and Alhed Aquaculture.1990.

Kenneth Helrich. **Official Methods of The Association of Official Analytical Chemists.** 15th.Ed. Virginia : The Association of Official Analytical Chemists , Inc.

Milsetone Application Note for Microwave Digestion. 1996.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Patricia Cunniff. **Official Methods of Analysis of AOAC International.** 16th. Ed. Volume 1,2. Maryland : AOAC International suit 500.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์อินทรีย์วัตถุในดิน (Organic Matter)

หลักการ

การวิเคราะห์อินทรีย์วัตถุ (O.M.) ในดินนิยมหาในรูปของอินทรีย์คาร์บอน (O.C.) เนื่องจากคาร์บอนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของอินทรีย์วัตถุ การวิเคราะห์อินทรีย์คาร์บอนในดินวิเคราะห์ได้ทั้งวิธี combusion ซึ่งคาร์บอนจะถูกเปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ และโดยวิธีไทเทรตปริมาณ dichromate ($Cr_2O_7^{2-}$) ที่เหลือจากถูกอินทรีย์วัตถุ reduce วิธีหลังนี้เช่นวิธีของ Walkley – Black ซึ่งจะได้กล่าวในรายละเอียดต่อไป

หลักการวิเคราะห์ O.M. ในดินโดยวิธี Walkley –Black

Oxidizing agent ($K_2Cr_3O_7$) ที่มากเกินพอจะออกซิไดซ์อินทรีย์คาร์บอนเป็น CO_2 โดยใช้ความร้อนจากกรด H_2SO_4 และวัดปริมาณ $Cr_2O_7^{2-}$ ที่เหลือโดยการไทเทรตด้วย reducing agent [$Fe(NH_4)_2(SO_4)$ $.5H_2O$]

อุปกรณ์

1. เครื่องชั่ง (Analytical balance)
2. Volumetric pipete 10 mL
3. Volumetric flask 100 และ 1,000 mL
4. Erlenmeyer flask 250 mL
5. Buret 25 mL
6. Cylinder 100 mL
7. กรวยกรอง 3 อัน

สารเคมี

1. Standard potassium dicromate solution , 1.0 N ละลาย $K_2Cr_3O_7$ (อบที่ 105°C นาน 12 ชั่วโมง) 49.04 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วทำให้เป็นสารละลาย 1 ลิตร ใน Volumetric flask

2. Conc.Sulfuric acid

ใช้กรด H_2SO_4 (GR) ที่มีความเข้มข้นไม่ต่ำกว่า 98% ถ้าดินในตัวอย่างมีคลอไรด์ (Cl) อยู่มากเติม Ag_2SO_4 ลงไปในกรดอัตรา 15 กรัม ต่อ กรด H_2SO_4 1 ลิตร

3. Redox indicator

ใช้ Diphenylamine 0.42% เตรียมโดยละลาย Diphenylamine 0.5 กรัม ในน้ำกลั่น 20 mL และ Conc.H_2SO_4 100 mL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. Ferrous ammonium Sulfate (FAS) solution , 0.5 N

ละลาย $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2.5H_2O$ (GR) 196.1 กรัม ในน้ำกลั่น 800 มล. ซึ่งมี conc. H_2SO_4 อยู่ 20 มล. แล้วทำให้เป็นสารละลาย 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่นใน volumetric flask เก็บสารละลายในขวดน้ำสีน้ำตาล (เพื่อกันแสง) และจะต้องปิดจุกให้แน่นเสมอเมื่อเก็บ

5. Conc. Phosphoric acid (H_3PO_4) 85%

6. Sodium fluride (NAF) ชนิดผง

วิธีทดลอง

1. ชั่งดินหนัก 0.5-2.0 กรัมใส่ใน erlenmeryer flask ขนาด 250 มล. เติม standard 1.0 N $K_2Cr_3O_7$ ลงไป 10.0 มล. โดยใช้ pipet แกว่ง flask เบาๆ เพื่อให้ดินและสารละลายผสมกัน แล้วเติม Conc. H_2SO_4 ลง 20 มล. โดยพยายามล้างเม็ดดินให้ลงไปอยู่ในกรดให้หมด อย่าให้เม็ดดินเหลือเกาะอยู่ตามข้าง flask แกว่ง flask ค่อนข้างแรง ประมาณ 1 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที หรือจนกระทั่งดินและสารละลายที่ผสมกันอยู่ (Mixture) เย็นลงเท่าอุณหภูมิของห้อง

2. เติมน้ำกลั่นลงไป 100 มล. แล้วเติม Conc. H_3PO_4 10 มล. (และ NAF 0.2 กรัม ในกรณีที่ใช้ dipheylamine เป็น redox indicator หรือจะไม่ใช้ก็ได้) แล้วจึงหยด indicator ลงไป 2-3 แกว่ง flask จนของผสม (mixture) เข้ากันดี สีของ mixture จะเป็นสีม่วงปนน้ำเงินหรือสีม่วงแดง

3. ไทเทรต mixture ด้วย FAS 0.5 N solution จาก Buret สีของ mixture จะเป็นสีม่วงเข้มขึ้น ไทเทรตต่อไปเรื่อยๆ จนกระทั่งจวนถึง end point สีของ mixture จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินค่อยหยด FAS ทีละหยดจนถึง end point สีของ mixture จะเปลี่ยนเป็นสีเขียวจัด (brilliant green)

4. เพื่อให้ได้ end point ที่ถูกต้อง เติม Standard 1.0 N $K_2Cr_3O_7$ ลงไปอีก 0.5 มล. เพื่อให้มี dicromate เหลือใน solution อีก สีของ mixture จะเปลี่ยนเป็นสีม่วงปนน้ำเงินหรือม่วงแดงอีกครั้ง แล้วค่อยๆ โดยหยด FAS 0.5 N solution ลงไปหยด จนถึง endpoint อีกครั้งหนึ่ง

5. ถ้าหากพบว่า ดินตัวอย่างใดมี dichromate เหลืออยู่ในสารละลาย (ก่อนไทเทรต) น้อยมากคือน้อยกว่า 2 มล. (ตอนแรกเติม 1 N $K_2Cr_3O_7$ 10 มล. และถูก organic carbon ในดิน reduce ไปมากกว่า 8 มล. ในระหว่าง digestion) ซึ่ง solution จะเป็นสีเขียวก่อนที่จะไทเทรต ทำการวิเคราะห์ใหม่โดยใช้ดินให้น้อยลงกว่าเดิม

6. ทำ blank ซึ่งไม่มีตัวอย่างดินควบคู่ไปด้วยกับการวิเคราะห์ตัวอย่างดินทุกชุด

7. ต้องทำการบันทึกจำนวน มล. ของ FAS solution ที่ใช้ในการไทเทรต ทั้งของ blank และของดินตัวอย่าง เพื่อนำเอาไปคำนวณหาปริมาณ O.C. ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน

$$\% \text{ Organic matter (O.M.)} = \frac{10.5}{B} \times (B-S) \times \frac{0.67}{G}$$

เมื่อ 10.5 = มล. ของ Standard $K_2Cr_3O_7$ ที่ใช้กับ Blank และกับตัวอย่างดิน

A = มล. ของ FAS solution ที่ใช้ไทเทรตกับ Blank

S = มล. ของ FAS solution ที่ใช้ไทเทรตกับตัวอย่างดิน

G = น้ำหนักดินเป็นกรัม

Factor 0.67 คำนวณมาจาก $(1.0\ N) \times \frac{12}{4,000} \times \frac{1.724}{0.77} \times 100$

เมื่อ 1.0 N = normality ของ Standard $K_2Cr_3O_7$ (ถ้าหาก normality ของ standard $K_2Cr_3O_7$ แตกต่างไปจาก 1.0 N สูตรทุกอันคูณด้วย normality ของ Standard $K_2Cr_3O_7$ 2 /)

$\frac{12}{4,000}$ = meq weight ของ carbon

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์โปรตีนทั้งหมด (Crude protein)

หลักการ

วิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนที่เป็นส่วนประกอบของโปรตีน ซึ่งโดยทั่วๆ ไปโปรตีนจะประกอบไปด้วยไนโตรเจนประมาณ 16 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นเมื่อทราบปริมาณไนโตรเจนแล้ว นำมาคูณกับเฟคเตอร์ 6.25 ผลที่ได้คือ โปรตีนทั้งหมด (crude protein)

ขั้นตอนการวิเคราะห์ มี 2 ขบวนการที่สำคัญ คือ

1. *ขบวนการย่อย* นำตัวอย่างอาหารสัตว์มาย่อยด้วยกรดซัลฟิวริคเข้มข้น ไนโตรเจนที่เป็นส่วนประกอบของโปรตีนจะถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปแอมโมเนียมซัลเฟต ดังสมการ

$$H_2SO_4 \longrightarrow H_2O + SO_2 + O$$

$$CH_2(NH_2)COOH + 3O \longrightarrow 2CO_2 + H_2O + NH_3$$

$$2NH_3 + H_2SO_4 \longrightarrow (NH_4)_2SO_4$$

2. *ขบวนการกลั่น* เมื่อสารละลายที่ได้จากการย่อยนั้นเย็นลงแล้ว นำมาเจือจางด้วยน้ำกลั่นและเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงไป เพื่อไล่แอมโมเนียออกมาและถูกกักเก็บในกรดซัลฟิวริคมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน

$$(NH_4)_2SO_4 + 2NaOH \longrightarrow Na_2SO_4 + 2NH_3 + 2H_2O$$

$$NH_3 + H_2O \longrightarrow NH_4OH$$

หลังจากนั้นนำสารละลายที่ได้มา titrate ด้วยด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์มาตรฐานเรียกว่า back titrate เพราะด่างมาตรฐานนั้นจะไปทำปฏิกิริยากับกรดมาตรฐานที่หลังจากการกักเก็บแอมโมเนียและนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณไนโตรเจนหรือโปรตีนทั้งหมดต่อไป

นอกจากวิธีดังกล่าว ยังมีวิธีอื่นๆ ซึ่งคล้ายคลึงกัน แต่แตกต่างกันใช้กรดบอริค (boric acid) เป็นตัวกักเก็บแอมโมเนีย และแอมโมเนียนั้นจะถูกไทเทรตโดยตรงกับกรดซัลฟิวริคมาตรฐาน เพื่อหาค่าปริมาณไนโตรเจนหรือโปรตีนทั้งหมดต่อไป

วิธีการทั้งสองอย่างให้ผลดีเหมือนกัน แต่วิธีการใช้กรดซัลฟิวริคกักเก็บแอมโมเนียจะประหยัดค่าสารเคมีมากกว่า อย่างไรก็ตาม วิธีการใช้กรดบอริคเก็บแอมโมเนียนั้น ช่วยประหยัดเวลาเพราะการเตรียมกรดบอริคไม่ต้องหาความเข้มข้นที่แน่นอน (standardized) และไม่มีปัญหาในการดูดซับแอมโมเนียทั้งหมดแม้ในตัวอย่างที่มีไนโตรเจนสูงก็ตาม

อุปกรณ์

1. Kjeldahl flask 500 mL
2. Burette

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เครื่องย่อย (Digestion Apparatus)
4. เครื่องกลั่น (Distillation Apparatus)
5. Erlenmeyer flask 500 mL
6. Volumetric flask 1,000 mL
7. ปิเปต

สารเคมี

1. กรดซัลฟิวริคเข้มข้น (Conc. H_4OH 93-98%)
2. ตัวเร่งปฏิกริยา (Catalyst mixture)

   ผสม Copper sulfate 7 กรัม กับ Potassium sunfate 100 กรัม
3. ชิ้นสังกะสี (zinc granules)
4. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 45 %

   โดยการละลาย NaOH (Commercail grade) 450 กรัม ในน้ำ 1 ลิตร การผสมในแต่ละครั้งควรกระทำเป็นปริมาณมาก ๆ และผสมในภาชนะพลาสติกขนาดใหญ่ โดยการเติมน้ำและเกล็ด NaOH ทีละน้อยสลับกันไป คนด้วยแท่งแก้วในแต่ละครั้ง NaOH จนกระทั่งเข้ากันดี แล้วทิ้งไว้ค้างคืนเพื่อให้สารละลายเย็นลง แล้วเทไว้ในขวดพลาสติก (polyethylene storage bottle)
5. สารละลายกรดบอริค 4% (H_3BO_3 40 กรัม ในน้ำ 1000 mL)
6. Indicator

   Bromocresol green ผสมกับ Methyl red ในอัตราส่วน 5:1 เตรียม bromocresol green โดยละลายสารนี้ 0.1 กรัม ในแอลกอฮอล์ 96% 100 mL เตรียม Methyl red โดยละลายสารนี้ 1 กรัมในแอลกอฮอล์ 96% 100 mL

สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริค 0.1 N

7. สารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 N เตรียมโดย

   1. เตรียมด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 N โดยชั่ง NaCO (AR grade) มา 4.5 กรัม เอาไปเจือจางในน้ำซึ่งต้มไล่ CO_2 ออกแล้ว ให้ได้ปริมาตร 1000 mL จะได้สารละลายเข้มข้น 0.1 N โดยประมาณ

   2. เตรียม Acid potassium phthalate มาตรฐานโดยชั่ง potassium hydrogen phthalate 20.42 กรัม ให้แน่นอน ละลายในน้ำกลั่นที่ไล่ CO_2 ออกแล้ว ปรับให้ได้ 1000 mL

   3. ใช้ปิเปตดูด Acid potassium phthalate 25 mL ใสลงฟลาส หยด phenolpthalein 2-3 หยด จะได้สารละลายที่ไม่มีนำไปไทเทรตด้วยด่างที่เตรียมไว้ จนได้ end point สีชมพูม่วง

   4. อ่านค่าปริมาตรของด่างที่ใช้นำไปคำนวณหา N โดยใช้สูตรที่ได้กล่าวมาข้างต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างอาหารมาประมาณ 1-2 กรัม ให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนห่อด้วยกระดาษกรอง (ที่ปราศจากไนโตรเจน) ใส่ลงใน Kjedahl flask

2. เติม Catalyst mixture 10 กรัม แล้วรินกรดซัลฟิวริคเข้มข้น 25 mL ลงในฟลาส

3. นำฟลาสไปต้มบนเครื่องย่อย ในครั้งแรกควรใช้ความร้อนต่ำประมาณ 5 นาที แล้วจึงเร่งให้มีความร้อนสูงขึ้น ใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง ขณะย่อยควรหมุนฟลาสไปรอบๆ เพื่อให้อาหารถูกย่อยอย่างทั่วถึง ทิ้งไว้ให้เย็น

4. เปิดเตาให้ความร้อนของเครื่องกลั่นไว้ก่อนให้มีความร้อนพอเพียงในขณะที่การกลั่นเริ่มต้น

5. ใช้ pipette ดูดกรดบอริก 4% เตรียมไว้ 100 mL ใส่ลงใน Erlenmeyer flask ขนาด 500 mL หยด bromerol green ที่ผสมกับ methyl red ลงไป 2-3 หยด จะได้สารละลายสีชมพูนำไปต่อกับเครื่องกลั่นโดยให้ปลายหลอดนำก๊าซของ condensor จุ่มอยู่ในสารละลาย

6. เติมน้ำกลั่น 300 mL ลงใน Kjeldahl flask ที่เย็นแล้วนั้นเขย่าให้สารที่อาจละลายให้เข้ากัน แล้วค่อยๆ รินสารละลาย NaOH 45% จำนวน 100 mL ให้ไหลไปตามด้านข้างของใส่ชิ้นสังกะสีลงไป 2-3 ชิ้น เพื่อเร่งปฏิกิริยา เมื่อใส่สังกะสีแล้วรีบนำฟลาสต่อเข้ากับเครื่องกลั่นทันที

7. ทำการกลั่น เมื่อแน่ในว่าจับก๊าซได้หมดแล้ว ซึ่งสังเกตได้จากของเหลวใน Erlenmeyer flask เพิ่มขึ้นประมาณ 200 mL หรือทดสอบด้วยกระดาษ litmus สีแดง ถ้าหมดก๊าซแล้วจะไม่เปลี่ยนสีจึงค่อยลดฟลาสลงให้ปลายหลอดนำก๊าซอยู่เหนือระดับสารละลาย ชะปลายหลอดนำก๊าซด้วยน้ำกลั่นเล็กน้อย นำฟลาสที่ใช้กักเก็บแอมโมเนียนั้นออกจากเครื่องเพื่อนำไปไทเทรตต่อไป

8. นำฟลาสใบใหม่ใส่น้ำกลั่น 100 mL ไปวางใต้เครื่องกลั่นแทน ปิดเตาและปล่อยให้ Kjeldahl flask เย็นลง จนกระทั่งน้ำกลั่นไหลย้อนกลับไปยัง Kjeldahl flask

9. นำสารละลายในฟลาสที่ใช้เก็บแอมโมเนียในข้อ 7. ไปไทเทรตกับ H_2SO_4 0.1 N จนได้ end point สีชมพู ปริมาณด่างที่ใช้สมมุติให้เป็น V_2

10. ทำ Blank ด้วยวิธีการดังกล่าวข้างต้น แต่ไม่ใส่ตัวอย่างอาหารหาจำนวนทั้งหมดที่ใช้ไทเทรตกับกรดบอริก 4% สมมุติให้เป็น V_1

11. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์โปรตีนทั้งหมด โดยใช้สูตร

$$\% \text{ Crude protien} = \frac{1.4\ VN \times 6.25}{W}$$

เมื่อ N = ความเข้มข้นเป็น normal ของ H_2SO_4

W = น้ำหนักของตัวอย่างอาหาร

V = ปริมาตรของกรดซัลฟิวริค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์หาไขมันและน้ำมันในกากตะกอนโดยการสกัดด้วยซอกล์เลต

หลักการ

การสกัดกากตะกอน (Extraction method sludge sample) โดยการนำกากตะกอนมาปรับ pH ให้ต่ำกว่า 2 และทำให้แห้งโดยใช้โซเดียมซัลเฟต (ซึ่งสารนี้สามารถดูดซึมน้ำได้ถึง 7 เท่าของน้ำหนักสาร) ดังนั้นกากตะกอนจะแห้งโดยไม่ต้องอบหลังจากนั้นจึงนำไปสกัดไขมันและน้ำมันด้วยซอล์กเลตโดยใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลาย

อุปกรณ์

1. ชุดสกัดซอกล์เลต
2. ทิมเบิล
3. บีกเกอร์ขนาด 150 mL
4. ขวดก้นกลมขนาด 500 mL
5. ครกบด

สารเคมี

1. กรดไฮโดรคลอรักเข้มข้น
2. โซเดียมซัลเฟต
3. เฮกเซน
4. ปีเปต 1 mL

วิธีการทดลอง

1. ชั่งน้ำหนักกากตะกอนที่ยังเปียกอยู่จำนวน 20 ± 0.5 กรัม (ซึ่งทราบค่าร้อยละของตะกอนแห้งใส่ในบีกเกอร์ขนาด 150 มล.)

2. ปรับพีเอชกากตะกอนให้เท่ากับ 2 โดยเติมกรดเกลือเข้มข้น 0.3 มล.

3. เติมโซเดียมซัลเฟต 25 กรัม คนให้เข้ากัน แล้วเกลี่ยให้เป็นแผ่นบางๆ ข้างบีกเกอร์ทิ้งไว้ประมาณ 15-30 นาที นำออกมาเทใส่ครกบดให้ละเอียด

4. ถ่ายตัวอย่างลงในทิมเบิล ใช้สำลีชุบเฮกเซนเช็ดไขมันที่ติดข้างบีกเกอร์และครกใสลงในทิมเบิลและเติมลูกแก้วให้เต็ม

5. ชั่งหาน้ำหนักขวดสกัด ซึ่งอบแห้งที่ 103° ซ จนมีน้ำหนักคงที่ สมมติน้ำหนักเท่ากับ A กรัม เติมเฮกเซนลงไป 200 มล.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. นำทิมเบิลในข้อ 4 ใส่ชุดสกัดซอกฮ์เลตใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลายสกัดด้วยอัตรา 20 รอบ/ชั่วโมงเป็นเวลา 4 ชม.

7. ระเหยเฮกเซนในขวดสกัดด้วยเครื่องอังน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 80° ซ จนแห้ง

8. นำขวดสกัดมาทำให้เย็นในโถทำแห้ง นำไปชั่งน้ำหนัก สมมติเท่ากับ B กรัม

การคำนวณหาไขมันและน้ำมัน

$$\text{ไขมันและน้ำมัน (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)} = \frac{(B-A) \times 100}{\text{น้ำหนักเปียก}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เยื่อใย (Fiber)

อุปกรณ์

1. Residue จากการหาไขมัน ถ้าตัวอย่างมีไขมันต่ำกว่า 1% ไม่ต้องสกัดไขมันออกก่อนได้
2. Sulfuric acid 0.255 N
3. Sodium hydroxcide solution 0.312 N
4. Ethyl alcohol 95%
5. Digestion Flask
6. Condensor ช่วยให้ปริมาตรของสารละลายคงที่ตลอดการย่อย
7. Funnel
8. Ashless filter paper

วิธีการ

1. นำตัวอย่างที่สกัดไขมันออกแล้ว (รู้น้ำหนักอย่างละเอียด) มาใส่ลงใน digestion flask เติมสารละลายกรดที่กำลังเดือดอยู่ 200 mL ลงไป ต่อ condenser กับขวด ส่วนผสมควรเดือดภายใน 1 นาที
2. กรองส่วนผสมในขวดทันทีด้วย Ashless filter paper ล้างส่วนที่ค้างอยู่บนกระดาษกรองด้วยน้ำเดือดจนหมดกรด
3. เตรียมขวดใส่สารละลายด่างที่เดือดไว้ให้พร้อม นำส่วนที่เหลือบนกระดาษกรองใส่กระดาษกรองให้หมด แล้วต้ม 30 นาที เขย่าเป็นครั้งคราว
4. กรองด้วยกระดาษกรองแผ่นเดิมแล้วล้างตัวอย่างถ่ายน้ำร้อนจน filtrate ปราศจากด่างแล้วกรองออกได้เป็นน้ำหนักของตัวอย่างที่ไม่ละลายในกรดและด่างหรือเท่ากับ dried weight ของ fiber
5. นำไปเผาเพื่อหาค่าของเถ้าจะได้น้ำหนักของเถ้า
6. คำนวณค่าของ Crude fiber จาก dried weight ของ fiber – weight of ash = Crude fiber

$$\% \text{ Crude fiber} = \frac{\text{Crude fiber} \times 100}{\text{น้ำหนักของตัวอย่างแห้ง}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักแห้งและความชื้น (Dry matter และ moisture)

หลักการ

moisture content หรือความชื้นจะถูกแสดงอยู่ในรูปน้ำคิดเป็น % และส่วนที่เหลือก็คือ matter content หรือน้ำหนักแห้งวิธี Air oven method สามารถใช้หาได้ในผลิตภัณฑ์อาหารทุกประเภทยกเว้นอาหารที่มี volatile compound หรือสารประกอบที่ระเหยได้ (เช่น volatile lipids) มีปริมาณมากกว่าน้ำหรือย่อยได้ที่อุณหภูมิ 100 °C โดยตัวอย่างจะถูกทำให้แห้งได้น้ำหนักคงที่ในเตาอบ (airoven)

อุปกรณ์

1. ตู้อบ 100-200 °C
2. Crucible
3. Desicator
4. เครื่องชั่ง

วิธีทดลอง

1. อบ crucible หรือขวดชั่งพร้อมฝาที่ 100 C° ใน oven นาน 30 นาที และเก็บให้เย็นใน dencicator และชั่งน้ำหนัก crucible หรือขวดชั่งโดยไม่ชั่งฝา
2. ใส่ตัวอย่างลงใน crucible หรือขวดชั่งประมาณ 2 กรัม
3. ทำให้ตัวอย่างแห้งโดยใช้ oven 100 C° และใช้ฝาปิดแย้มๆ ไว้
   ก. ตัวอย่างแห้ง เช่น อาหารปลา ก็ทำให้แห้งโดยใช้เวลา 6 ชม.
   ข. ตัวอย่างสด (เปียก) เช่น เนื้อเยื่อปลา ฯลฯ ใช้เวลา 24 ชม. ในการทำแห้งหรือจนกว่าน้ำหนักของตัวอย่างจะคงที่
4. หลังจากทำให้แห้งแล้ว เก็บให้เย็นใน densicator และชั่งน้ำหนักอีกครั้งโดยไม่ต้องชั่งฝาครอบ

วิธีการคำนวณน้ำหนักแห้งและความชื้น

$$\% \text{ Dry matter} = \frac{\text{น้ำหนักของตัวอย่างแห้ง}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}} \times 100$$

$$\% \text{ ความชื้น} = 100 - \% \text{ น้ำหนักแห้ง}$$

และสามารถใช้ตัวอย่างแห้งนี้ไปวิเคราะห์เถ้า (Ash) ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เถ้า (Ash)

หลักการ

เถ้าเป็นส่วนของ inorganic ในอาหารและส่วนผสมของอาหาร เป็นส่วนที่เหลืออยู่เมื่อเผาไหม้เอาน้ำและส่วนของ organic ออกไปแล้ว

อุปกรณ์

1. crucible
2. hot plate
3. เตาเผา อุณหภูมิ 600 C°

สารเคมี

กรดไนตริกเข้มข้น

วิธีทดลอง

1. อบ crucible และฝาที่ 100 C° ใน oven เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำให้เย็นใน dessicator และชั่งอย่างละเอียด
2. ชั่งตัวอย่างใส่ใน crucible ปริมาณ 2 กรัม อย่างละเอียด (อาจใช้ตัวอย่างที่หาความชื้นแล้วมาทำเถ้าต่อได้)
3. วาง crucible บน hot plate และเติม 0.2 mL ของ concentrated nitric acid ภายใต้ hood และเปิดไฟของ hot plate ให้สูงขึ้น ตั้งทิ้งไว้ 45 นาที และใช้ฝาเปิดเผยอไว้เล็กน้อย
4. ย้ายไปใส่ใน mufflefurnace เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ที่ 100 C°
5. ทำให้เย็นลงใน dessicator และชั่ง

การคำนวณ

$$\% \text{ เถ้า} = \frac{\text{น้ำหนักเถ้า} \times 100}{\text{น้ำหนักของตัวอย่างแห้ง}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการคำนวณหา NFE

หลักการ

องค์ประกอบของอาหารทางด้านโภชนาการ ประกอบด้วยโปรตีน ไขมัน เถ้า ความชื้น เยื่อใย (fiber) และคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ (NFE) ซึ่งองค์ประกอบทั้งหมดนี้คิดเป็น 100% ดังนั้นปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้จึงสามารถหาได้จากการหักปริมาณโปรตีน ไขมัน เถ้า ความชื้น และเยื่อใย (fiber) ออกจากปริมาณทั้งหมด

การคำนวณ

$$\%\ NFE = 100 - (\%\ \text{โปรตีน} + \%\ \text{ไขมัน} + \%\ \text{เถ้า} + \%\ \text{ความชื้น} + \%\ \text{เยื่อใย})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์หาค่าฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้ (Soluble reactive Phosphorus, SRP)

อุปกรณ์

เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ไนไตรท์ในน้ำ

สารเคมี

1. สารละลายโพแทสเซียม แอนติโมนี ทาร์เทรต ($K(SbO)C_4H_4O \cdot \frac{1}{2} H_2O$)
   ละลาย $K(SbO)C_4H_4O \cdot \frac{1}{2} H_2O$ 1.3715 กรัมในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้ได้ 500 mL
2. สารละลายแอมโมเนียมโมลิบเดท ($(NH_4)_6 MO_7 O_{24} \cdot 4H_2O$)
   ละลาย $(NH_4)_6 MO_7 O_{24} \cdot 4H_2O$ 20 กรัมในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้ได้ 500 mL
3. กรดซัลฟิวริค (H_2SO_4) 5 N
   เจือจาง H_2SO_4 เข้มข้น 70 mL ในน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรครบ 500 mL
4. สารละลายกรดแอสคอบิก (Ascorbic acid solution)
   ละลาย ascorbic acid 1.76 กรัม ในน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรครบ 100 mL สารละลายนี้ควรใช้ภายใน 24 ชั่วโมง หลังจากการเตรียม แต่สามารถเก็บไว้ได้ประมาณ 1 สัปดาห์ที่อุณหภูมิ 4°C
5. Combine reagent
   โดยผสมสารละลายทั้ง 4 ซึ่งใน 100 mL จะใช้สารละลายต่างๆ ดังนี้คือ

สารละลายโพแทสเซียมแอนติโมนีทาร์เทรต	5	mL
สารละลายแอมโมเนียมโมลิบเดท	15	mL
สารละลายกรดแอสคอบิก	30	mL
กรดซัลฟิวริค	50	mL

6. สารละลายมาตรฐานฟอสเฟต (Phosphate Standard Solution)

ละลายโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (kH_2PO_4) ที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลาครึ่งชั่วโมง แล้วทำให้เย็นในโถดูดความชื้นจำนวน 0.2195 กรัมในน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรครบ 1,000 mL (ความเข้มข้น 50 ppm) (stock solution) เขย่าให้เข้ากันจากนั้นปิเปตมา 5 mL ปรับปริมาตรให้ได้ 100 mL ด้วยน้ำกลั่น (ความเข้มข้น 2.5 ppm) (standard solution) เก็บในตู้เย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีทดลอง

1. นำน้ำตัวอย่างที่กรองแล้ว 10 mL ใส่ลงในหลอดทดลอง
2. เติม Combine reagent 1.6 mL นำไปเขย่าให้เข้ากันด้วยเครื่องเขย่า
3. ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที – 30 นาที แล้วนำไปวัดค่า absorbance ด้วยเครื่องSpectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 880 นาโนเมตร บันทึกค่า absorbance แล้วนำไปหาความเข้มข้นจากกราฟมาตรฐาน ทำ blank ด้วย
4. การทำกราฟมาตรฐานทำเช่นเดียวกับน้ำตัวอย่างแต่ใช้ combine reagent ตัวอย่างละ 8 mL โดยมีปริมาณสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตและน้ำกลั่นดังตาราง

Concentration (ppm)	D.I. water	Standard 2.5 ppm
0	50 mL	0 mL
0.125	47.5 mL	2.5 mL
0.250	45 mL	5.0 mL
0.500	40 mL	10.0 mL
1.000	30 mL	20.0 mL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ค่าแอมโมเนียในน้ำ (NH_3)

หลักการ

ในการวิเคราะห์หาค่าแอมโมเนียในน้ำ ควรกระทำทันทีหลังจากเก็บตัวอย่างน้ำ ถ้าไม่สามารถวิเคราะห์ได้ทันทีควรเก็บรักษาด้วยกรดซัลฟิวริค เข้มข้น 0.8 mL ต่อตัวอย่างน้ำ 1 ลิตร และเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4°C ค่า pH จะอยู่ในช่วง 1.5 – 2.0 ก่อนจะทำการวิเคราะห์ต้องทำให้เป็นกลางก่อนโดยใช้ NaOH หรือ KOH

อุปกรณ์

เช่นเดียวกับการวิเคราะห์หาปริมาณไนไตรท์

สารเคมี

1. สารละลายอัลคาไลน์ (Alkaline stock solution)

ใช้โซเดียมซิเตรท 100 กรัม กับ โซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 กรัม ละลายในน้ำกลั่นปรับปริมาตรจนครบ 500 mL

2. ออกซิไดซ์ซิ่ง รีเอเจนท์ (Oxidizing reagent)

ใช้สารละลายอัลคาไลน์ผสมกับไฮเตอร์ ในอัตราส่วน 4:1 ในที่นี้ใช้ 20 mL : 5 mL สารละลายนี้จะเตรียมเมื่อต้องการจะใช้ในแต่ละครั้งและจะต้องเก็บไว้ในขวดทึบแสงปิดฝา

3. สารละลายโซเดียมไนโตรพลัสไซด์ (Sodium nitroprusside solution)

ชั่งโซเดียมไนโตรพลัสไซด์ ($Na_2(NO)Fe(CN)_5.2H_2O$) 5 กรัมละลายในน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรครบ 1,000 mL

4. ฟีนอลรีเอเจนท์ (Phenol reagent)

ชั่งฟีนอล 50 กรัม ละลายในเอธิลแอลกอฮอลล์ 95% จนได้ปริมาตรครบ 1,000 mL

5. สารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย (Ammonia standard solution)

ชั่งแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) ที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วทำให้เย็นในโถทำแห้งจำนวน 0.3819 กรัม ละลายในน้ำกลั่นปรับปริมาตรให้ได้ 1,000 mL (ความเข้มข้น 100 ppm) (stock solution) เจย่าให้เข้ากันจากนั้นปีเปตมา 2 mL ปรับปริมาตรให้ได้ 100 mL ด้วยน้ำกลั่น (ความเข้มข้น 2 ppm) (standard solution)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีทดลอง

1. นำน้ำตัวอย่างที่กรองแล้ว 5 mL ลงในหลอดทดลอง

2. เติมฟีนอลรีเอเจนท์ 0.2 mL, โซเดียมไนโตรพลัสไซด์ 0.2 mL และ ออกซิไดซ์ซิ่งรีเอเจนท์ 0.5 mL นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่า

3. ทิ้งไว้ 1 – 24 ชั่วโมง จะเป็นสีน้ำเงินนำไปวัดหาค่า absorbance ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 630 นาโนเมตร บันทึกค่า absorbance หลังจากลบค่า absorbance จาก blank ออกแล้ว นำไปหาค่าความเข้มข้นจากกราฟมาตรฐานแอมโมเนีย

4. การทำกราฟมาตรฐานทำเช่นเดียวกับน้ำตัวอย่าง โดยปริมาณที่ใช้ของสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียและน้ำกลั่น ดังตาราง

Concentration (ppm)	D.I. water	Standard 2 ppm
0	5	0
0.2	4.5	0.5
0.5	3.75	1.25
1.0	2.5	2.5
1.5	1.25	3.75
2.0	0	5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 แสดงร้อยละของอันอิออไนซ์แอมโมเนียในสารละลายที่มีอุณหภูมิและค่าพีเอชต่างกัน

pH	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)								
	16	18	20	22	24	26	28	30	32
7.0	0.30	0.34	0.40	0.46	0.52	0.60	0.70	0.81	0.95
4.2	0.47	0.54	0.63	0.72	0.82	0.95	1.10	1.27	1.50
7.4	0.74	0.86	0.99	1.14	1.30	1.50	1.73	2.00	2.36
7.6	1.17	1.35	1.56	1.79	2.05	2.35	2.72	3.13	3.69
7.8	1.84	2.12	2.45	2.80	3.21	3.68	4.24	4.88	5.72
8.0	2.85	3.32	3.83	4.37	4.99	5.71	6.55	7.52	8.77
8.2	4.49	5.16	5.94	6.67	7.68	8.75	10.00	11.41	13.22
8.4	6.93	7.94	9.09	10.30	11.65	13.20	14.98	16.96	19.46
8.6	10.56	12.03	13.68	15.40	17.28	19.42	21.83	24.45	27.68
8.8	15.76	17.82	20.08	22.38	24.88	27.64	30.68	33.90	37.76
9.0	22.87	25.57	28.47	31.37	34.42	37.71	41.23	44.84	49.02
9.2	31.97	35.25	38.69	42.01	45.41	48.96	52.65	56.30	60.38
9.4	42.68	46.32	50.00	53.45	56.86	60.33	63.79	67.12	70.72
9.6	54.14	57.77	61.31	64.54	67.67	70.67	73.63	76.39	79.29
9.8	65.17	68.43	71.53	74.25	76.81	79.25	81.57	83.68	85.85
10.0	74.78	77.46	79.92	82.05	84.00	85.82	87.52	89.05	90.56
10.2	82.45	84.48	86.32	87.87	89.27	90.56	91.75	92.80	93.84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ค่าไนไตรท์ในน้ำ (NO_2-N)

หลักการ

การวิเคราะห์ไนไตรท์ควรจะทำการวิเคราะห์ทันทีเพื่อป้องกันแบคทีเรียเปลี่ยนไนไตรท์ให้เป็นไนเตรทหรือแอมโมเนีย ถ้าไม่สามารถวิเคราะห์ได้ควรเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -20°C หรือเติมเมอร์คิวรี่คลอไรด์ ($HgCl_2$) 40 mg/L แล้วนำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4°C

อุปกรณ์

1. หลอดทดลอง
2. กระดาษกรอง
3. เครื่องเขย่า
4. เครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 543 นาโนเมตร
5. ปีเปต 1 , 5, 10 mL
6. จุกยาง

สารเคมี

1. สารละลายซัลฟานิลาไมด์ (Sulfanilamide solution)

ค่อยๆ เทกรดไฮโดรคลอริคเข้มข้น 50 mL ลงในบีกเกอร์ที่มีน้ำกลั่น 240 mL แล้วชั่งซัลฟานิลาไมด์ 5 กรัม ลงไปคนผสมให้ทั่วกันและปรับปริมาตรให้ครบ 500 mL ด้วยน้ำกลั่น

2. สารละลายเอ็นเอ็นอีดี (N-1-Naphtylethylene diamine dihydrochloride, NNED)

ชั่ง NNED 0.5 กรัม ละลายในน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรครบ 500 mL จะได้สารละลายใสหรือสีชมพูอ่อนๆ เก็บสารละลายไว้ในขวดสีน้ำตาล ถ้าสารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเข้มต้องเตรียมใหม่

3. สารละลายมาตรฐานไนไตรท์ (Nitrite standard solution)

นำโซเดียมไนไตรท์ ($NaNO_2$) ที่อบไว้ที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จำนวน 0.4925 กรัม มาละลายในน้ำกลั่นปรับปริมาตรจนได้ 1000 mL (ความเข้มข้น 100 ppm) (stock solution) จากนั้นเขย่าให้เข้ากันแล้วปีเปตมา 2-5 mL ปรับปริมาตรในขวดวัดปริมาตรให้ได้ 500 mL (ความเข้มข้น 0.5 ppm) (standard solution) เก็บในตู้เย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีทดลอง

1. นำน้ำตัวอย่างที่กรองแล้ว 10 mL มาเติมสารละลายซัลฟานิลาไมด์ 0.2 mL และสารละลาย NNED 0.2 mL จะได้สารละลายสีชมพู นำหลอดทดลองไปเขย่าให้เข้ากันทิ้งไว้ 10 นาที – 2 ชั่วโมง

2. นำสารละลายที่ได้ไปวัดด้วยเครื่องสเปกโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 543 นาโนเมตร บันทึกค่า absorbance หลังจากลบค่า absorbance ของ blank ออกแล้ว และหาความเข้มข้นจากกราฟมาตรฐาน

3. การทำกราฟมาตรฐานของไนไตรท์ดำเนินการเช่นเดียวกับน้ำตัวอย่าง แต่ใช้ปริมาณสารละลายมาตรฐานไนไตรท์และน้ำกลั่นดังตาราง ซึ่งได้ค่าความเข้มข้นต่างๆ กัน

Concentration (ppm)	D.I. water	Standard 0.5 ppm
0	10	0
0.05	9	1
0.10	8	2
0.15	7	3
0.20	6	4
0.30	4	6
0.40	2	8
0.50	0	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ค่าไนเตรทในน้ำ (NO_3-N)

หลักการ

การวิเคราะห์หาค่าไนเตรทในน้ำ วิธีการที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์ คือ Cadmium reduction method ใช้หลักการสำคัญคือไนเตรทจะถูกรีดิวซ์ให้เป็นไนไตรท์ โดยใช้แคดเมียม (Cd) ดังนั้นการวิเคราะห์ไนเตรทจึงต้องมีคอลัมน์ในการเปลี่ยนไนเตรทให้เป็นไนไตรท์ (Cadmium-copper reducing column)

อุปกรณ์

1. คอลัมน์
2. หลอดทดลอง
3. ขวดรูปชมพู่ขนาด 125 mL
4. กระดาษกรอง
5. เครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 543 นาโนเมตร
6. ปิเปต 10 mL
7. กระบอกตวง 25 mL

สารเคมี

1. สารละลายซัลฟานิลาไมด์ (Sulfanilamide solution)
   เตรียมเช่นเดียวกับการวิเคราะห์หาไนไตรท์ในน้ำ
2. สารละลายเอ็น เอ็น อี ดี (N-1-Naphtylethylene diamide dihydrochloride, NNED)
   เตรียมเช่นเดียวกับการวิเคราะห์หาไนไตรท์ในน้ำ
3. สารละลายมาตรฐานไนเตรท (Nitrate standard solution)

นำโพแทสเซียมไนเตรท (KNO_3) ไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วทำให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วชั่งมา 0.3611 กรัม ละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรจนครบ 250 mL (ความเข้มข้น 200 ppm) (stock solution) จากนั้นเจย่าให้เข้ากันแล้วปิเปตมา 5 mL ปรับปริมาตรให้ได้ 100 mL ด้วยน้ำกลั่น (ความเข้มข้น 10 ppm) (standard solution) เก็บสารละลายนี้ไว้ในขวดทึบแสงและที่อุณหภูมิต่ำ

4. สารละลายบัฟเฟอร์ (Buffer solution)

บัฟเฟอร์ 1 : ชั่งแอมโมเนียคลอไรด์ (NH_4Cl) 25 กรัม และ Disodiumtetrabonate 5 กรัม และ EDTA 0.5 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นและปรับปริมาตรให้ได้ 250 mL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บัฟเฟอร์ 2 : นำน้ำกลั่น 300 mL และบัฟเฟอร์ 1 มา 30 mL ผสมกัน (เพื่อใช้ในการล้างคอลัมน์หลังจากที่ packed คอลัมน์และกรองสารละลายมาตรฐานแล้ว)

5. กรดไฮโดคลอริค (HCl) 6 N

ตวงกรด HCl 500 mL ลงในบีกเกอร์และเติมน้ำกลั่นปรับปริมาตรให้ได้ 1000 mL

6. สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSo_4$ Solution)

ชั่ง $CuSo_4 . H_2O$ 20 กรัม ละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรให้ได้ 1000 mL

7. เม็ดแคดเมียม

วิธีการทดลอง

การเตรียมคอลัมน์

1. ล้างเม็ดแคดเมียมด้วยกรด HCl 6 N
2. ล้างด้วยน้ำกลั่น 5 ครั้ง
3. ล้างด้วย $CuSo_4$ จนกระทั่งสีฟ้าจางหายไป ทำซ้ำโดยการใส่ $CuSo_4$ ลงไปใหม่จนกระทั่งเม็ด Cd ที่แขวนลอยอยู่มีสีน้ำตาล
4. จากนั้นล้าง Cu – Cd ด้วยน้ำกลั่นอย่างน้อย 10 ครั้ง เพื่อให้ Cu หลุดออกมา
5. ใช้คีมคีบสำลีใส่ลงไปในคอลัมน์ เกลี่ยใยแก้วให้อยู่ในก้นของคอลัมน์เติมน้ำกลั่นลงไปในคอลัมน์ให้เต็ม
6. ตวง Cd ในข้อ 3 ใส่ลงในคอลัมน์ ระวังอย่าให้ Cd อัดตัวแน่นเกินไป ขณะเดียวกันก็ไขน้ำออกอย่างช้าๆ เพื่อป้องกันน้ำล้นคอลัมน์ แต่ควรให้น้ำเต็มคอลัมน์เพื่อให้ Cd ถูกกับอากาศมากที่สุด
7. ใช้คีมคีบสำลีลงในคอลัมน์ พยายามเกลี่ยอย่างเบาๆ ให้ชิดส่วนบนสุดของ Cd แล้วไขน้ำออกจากระดับน้ำอยู่เหนือส่วนบนของสำลีเล็กน้อย
8. เติมคอลัมน์ให้เต็มด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ 2 แล้วปล่อยสารทิ้งไปโดยปรับอัตราไหลของน้ำที่ผ่านคอลัมน์ให้ได้ปริมาตร 25 mL
9. เติมน้ำกลั่นให้เต็มคอลัมน์ ปิดจุกให้น้ำหยุดไหลเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ในเตรทครั้งต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีวิเคราะห์หาค่าไนเตรทในน้ำ

1. นำน้ำตัวอย่างที่กรองแล้ว 50 mL มาใส่บัฟเฟอร์ 1 จำนวน 5 mL เขย่าให้ผสมกัน

2. นำสารละลายทั้งหมดไปผ่านคอลัมน์จนได้สารละลายที่ผ่านคอลัมน์ 25 mL ครั้งแรกทิ้งไป ส่วน 25 mL หลังที่กรองผ่านคอลัมน์ใส่ sulphanilamide 2 mL และ NNED 2 mL จะได้สีชมพู

3. ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที – 2 ชั่วโมง แล้วนำไปวัดค่า absorbance ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่มีความยาวคลื่น 543 นาโนเมตร และคำนวณค่าความเข้มข้นจากกราฟมาตรฐาน ทำ blank ด้วย

4. การทำกราฟมาตรฐานทำเช่นเดียวกับน้ำตัวอย่าง โดยใช้ปริมาณสารละลายมาตรฐานไนเตรท และน้ำกลั่นดังตาราง

Concentration (ppm)	D.I. water	Standard 10 ppm
0	10	0
0.2	9.8	0.2
0.5	9.5	0.5
1.0	9.0	1.0
1.5	8.5	1.5
2.0	8.0	2.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ความเป็นด่างของน้ำในบ่อเลี้ยงปลา (Alkalinity)

หลักการ

ความเป็นด่างของน้ำประกอบด้วยคาร์บอเนต (CO_3^-) , ไบคาร์บอเนต (HCo_3^-) และไฮดรอกไซด์ (OH^-) ค่าความเป็นด่างของตัวมันเองตามธรรมชาติไม่ถือว่าเป็นสารมลพิษ โดยปกติในบ่อเลี้ยงปลาอาจมีค่าความเป็นด่างอยู่ระหว่าง 50-300 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งค่านี้จะมีผลเกี่ยวเนื่องกับคุณสมบัติด้านอื่นๆ เช่น ค่าพีเอชของน้ำ , ค่าความเป็นกรด (Acidity) , ค่าความกระด้าง (Hardness) เป็นต้น คุณสมบัติที่สำคัญของความเป็นด่างแหล่งน้ำ คือเป็นตัวช่วยควบคุมไปให้แหล่งน้ำมีการเปลี่ยนแปลงพีเอชรวดเร็วเกินไป ถ้าค่าความเป็นด่างสูง จะป้องกันมิให้ค่าพีเอชเปลี่ยนแปลงมาก ถ้าค่าความเป็นด่างต่ำ การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในรอบวันจะเปลี่ยนแปลงรวดเร็วซึ่งจะเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ

อุปกรณ์

1. ขวดรูปชมพู่ขนาด 125 mL
2. บิวเรต ขนาด 50 mL
3. บิเบต 1.0 mL
4. จุกยาง

สารเคมี

1. ฟีนอลฟ์ทาลีน (Phenolphthalein indieator)
   ละลายฟีนอลฟ์ทาลีน 0.1 กรัม ในเอทธิลแอลกอฮอล์ 95% (C_2H_5OH)
2. เมทธิล ออเรนจ์ อินดิเคเตอร์ (Methyl orange indicator)
   ละลายเมทธิลออเรนจ์ 0.1 กรัม ในน้ำกลั่นที่กำจัดอิออน จนได้ปริมาตร 50 mL
3. สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริค 0.2 N (Standard Sulphuric acid solution , H_2SO_4)
   เทกรดซัลฟิวริคเข้มข้น (H_2SO_4 conc.) 3 mL ลงในน้ำกลั่น (ที่ต้มเดือดใหม่ๆ แล้วปิดฝาทำให้เย็น) จนได้ปริมาตรครบ 500 mL
4. สารละลายมาตรฐานโซเดียมคาร์บอเนต 0.2 N (Standard Sodium carbonate Solution) ชั่ง Na_2CO_3 ซึ่งอบให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 130°C เป็นเวลานาน 90 นาที แล้วนำให้เย็นในโถดูดความชื้น จำนวน 0.53 กรัม ละลายในน้ำกลั่นที่ต้มเดือดใหม่ ๆ ปิดฝาแล้วทำให้เย็นจนได้ปริมาตร 50 mL
5. เมทธิลเรดอินดิเคเตอร์ (Methyl red indicator) ละลายเมทธิลเรด 0.5 กรัม ในน้ำกลั่นที่กำจัดอิออนแล้ว จนได้ปริมาตร 100 mL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทดลอง

1. นำน้ำตัวอย่าง 10 mL ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 mL
2. หยดฟีนอลฟ์ทาลีนอินดิเคเตอร์ 1 หยด เขย่าให้ผสมกัน

2.1 ถ้าสารละลายใส ทำต่อไปข้อ 3

2.2 ถ้าสารละลายมีสีชมพู ต้องไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริคจนสีชมพูหายไปบันทึกปริมาตรที่ใช้ไป (นำไปรวมกับปริมาตรของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริคที่ใช้ไปในข้อ 4) ทำต่อไปในข้อ 3

3. หยดเมทธิลออเรนจ์ 2-3 หยด เขย่าให้ผสมกันจะให้สารละลายสีเหลือง
4. ไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริค 0.02 N จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนเป็นสีส้มจนปริมาตรของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริคทั้งหมดที่ใช้ไป

การคำนวณความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริค (N)

$$\text{ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริค (N)} = \frac{0.2 \times 25}{\text{ปริมาตร (mL) ของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริคที่ใช้ไป}}$$

ปรับความเข้มข้นของสารละลาย H_2SO_4 ให้ได้ 0.02 N ด้วยสูตร $\longrightarrow N_1V_1 = N_2V_2$

การคำนวณค่าความเป็นด่างของน้ำ (mg / L)

ค่าความเป็นด่างของน้ำ ($mgCaCo_3$ / L) = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริคที่ใช้ไป x 20

การหาค่าความเข้มข้นของสารละลาย H_2SO_4 0.2 N

1. นำสารละลาย $NaCO_3$ 25 mL หยด เมทธิล เรด อินดิเคเตอร์ 5 หยด จนได้สีเหลือง
2. ไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐาน H_2SO_4 0.2 N จนได้สีชมพู
3. จากนั้นนำไปต้ม N 3 นาที จนได้สีเหลือง แล้วไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐาน H_2SO_4 0.2 N จนได้สารละลายสีชมพู บันทึกปริมาตรของสารละลายมาตรฐานกรด H_2SO_4 0.2 N ที่ใช้ทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก (Heavy metal)

อุปกรณ์

1. เครื่องไมโครเวฟ
2. ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 mL
3. กรวยกรอง
4. น้ำกลั่น
5. เครื่อง Atomic Absorbtion Spectroscopy

สารเคมี

1. กรดไนตริก (HNO_3) เข้มข้น 65%
2. กรดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) เข้มข้น 30%

วิธีทดลอง

วิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในตะกอน (Pb , Cd , Ni)

1. ชั่งน้ำหนักตะกอนแห้ง 0.2 กรัม
2. เติมกรดไนตริกเข้มข้น 65% ปริมาณ 4 mL และกรดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30% ปริมาณ 1 mL
3. ทำการย่อยโดยใช้ microwave หลังจากย่อยเสร็จต้องทำให้เย็น
4. นำสารละลายที่ย่อยได้มากองใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 mL แล้วใช้น้ำกลั่นปรับปริมาตร
5. นำไปวัดด้วยเครื่อง Atomic Absorbtion Spectroscopy

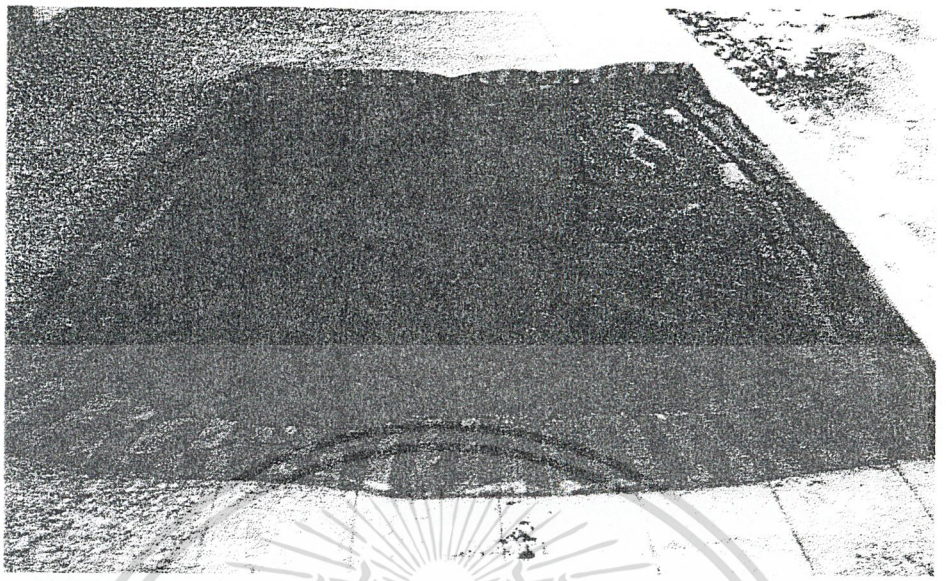
วิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในเนื้อปลา (Pb , Cd , Ni)

1. ชั่งเนื้อปลา 1 กรัม
2. เติมกรดไนตริกเข้มข้น 65% ปริมาณ 6 mL และกรดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30% ปริมาณ 1 mL
3. จากนั้นวิเคราะห์เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ตะกอน

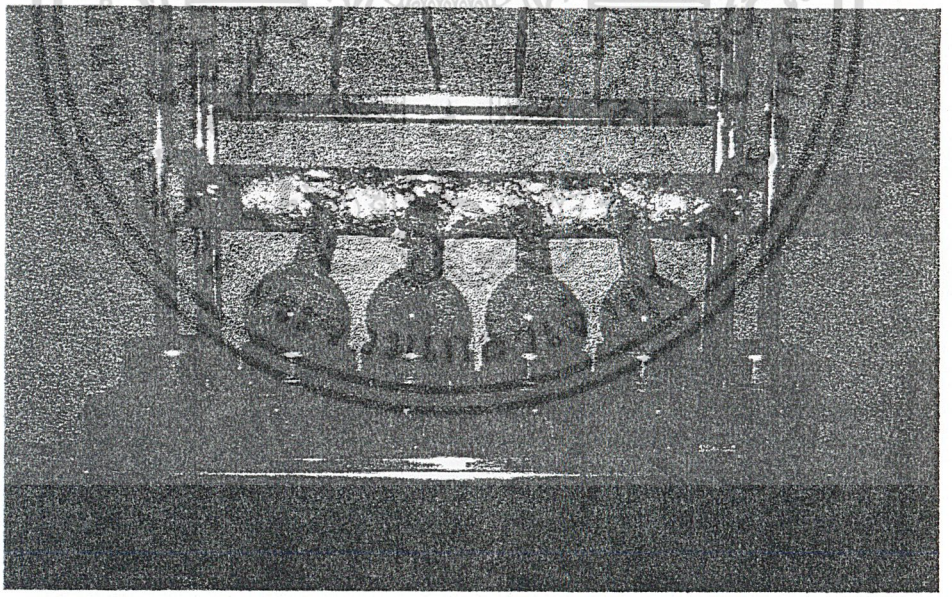
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

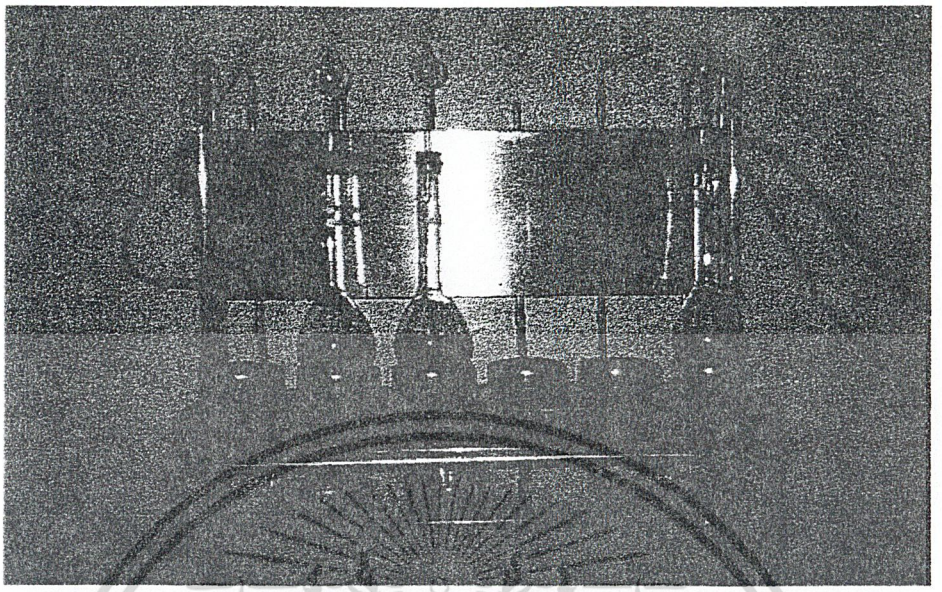


รูปที่ ข.1 แสดงการตากตะกอน

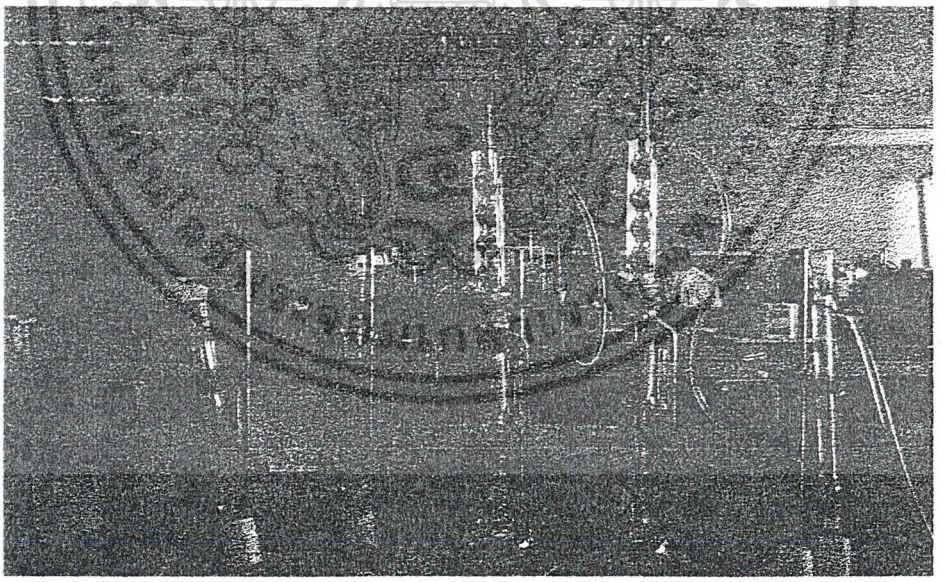


รูปที่ ข.2 แสดงขั้นตอนการย่อยในการวิเคราะห์หาโปรตีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

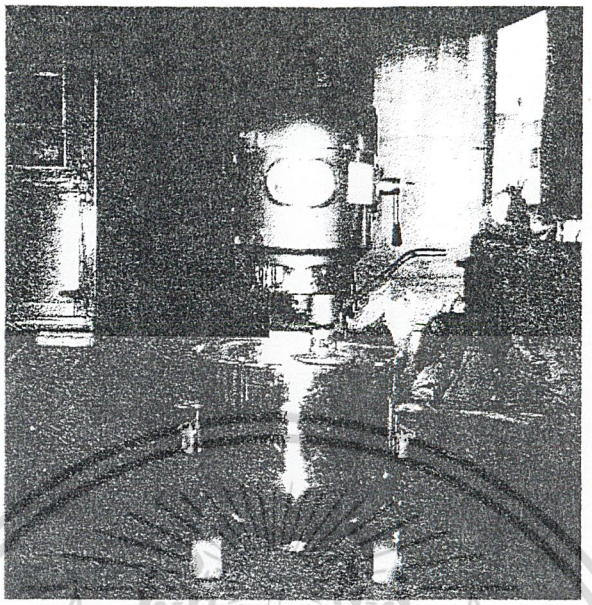


รูปที่ ข.3 แสดงการกลั่นหาโปรตีน

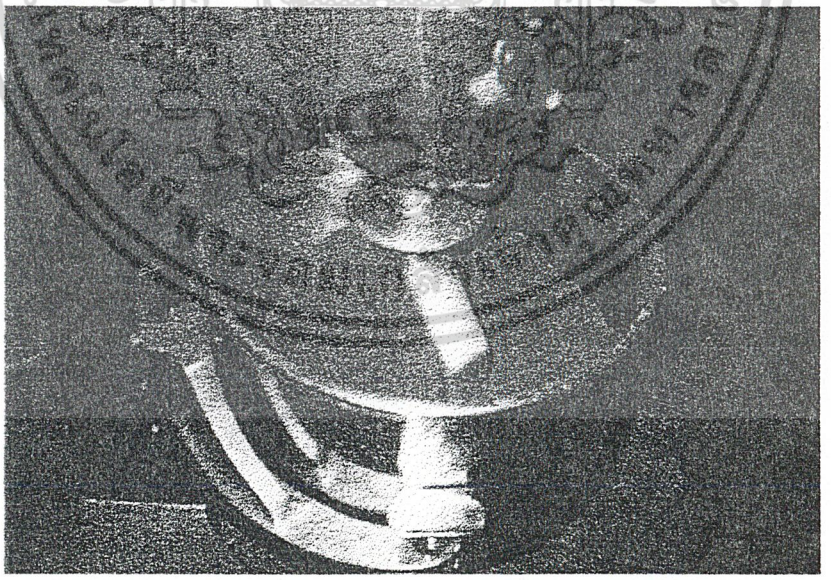


รูปที่ ข.4 แสดงการหาไขมันด้วยซอกฮ์เลต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

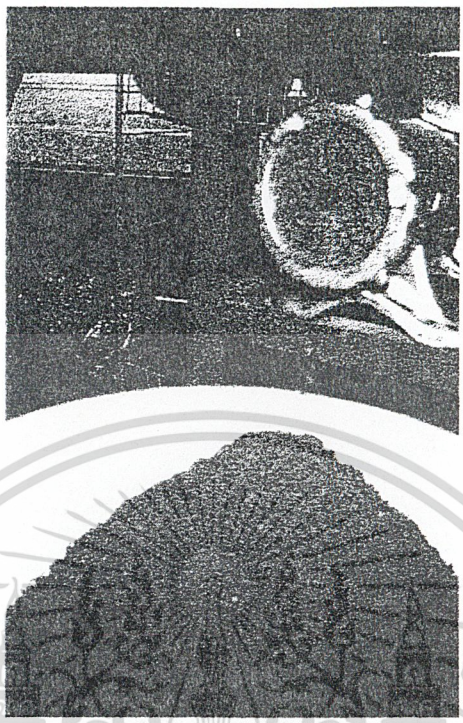


รูปที่ ข.5 แสดงเครื่องกวนอาหาร



รูปที่ ข.6 แสดงการผสมอาหาร

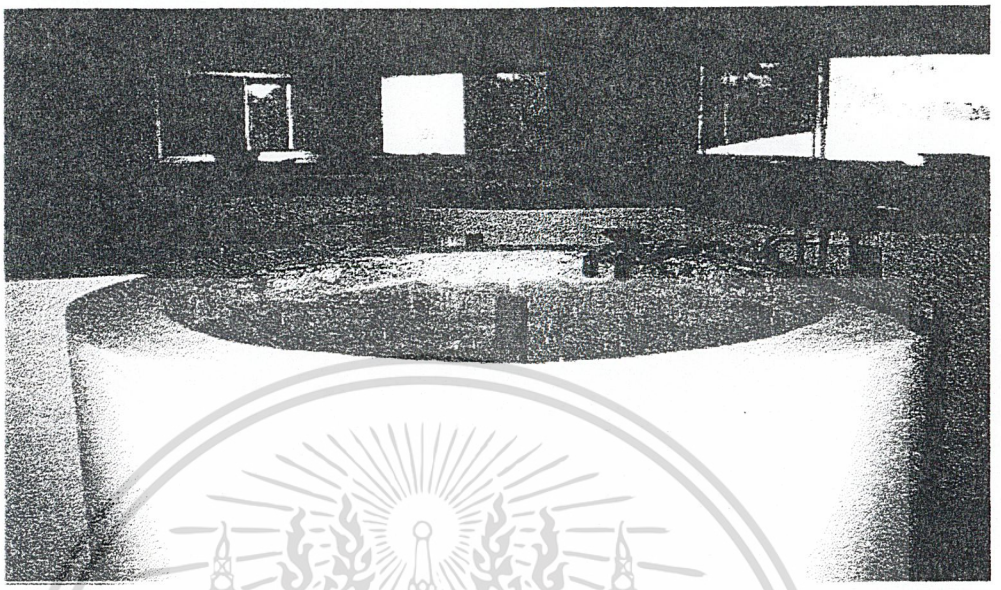
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



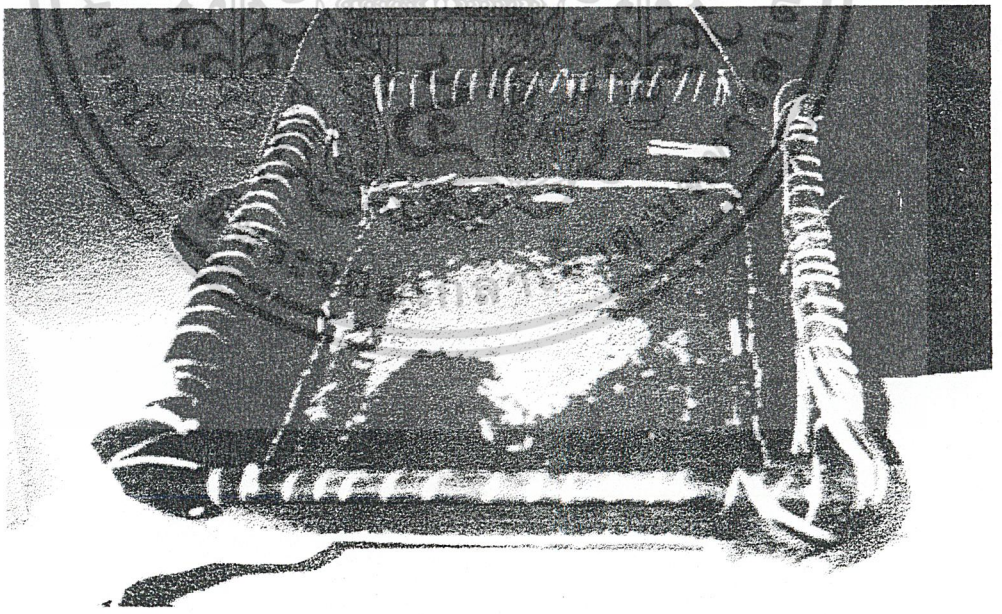
รูปที่ ข.7 แสดงการอัดเม็ดอาหารปลา

รูปที่ ข.8 แสดงการตากอาหารในที่ร่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

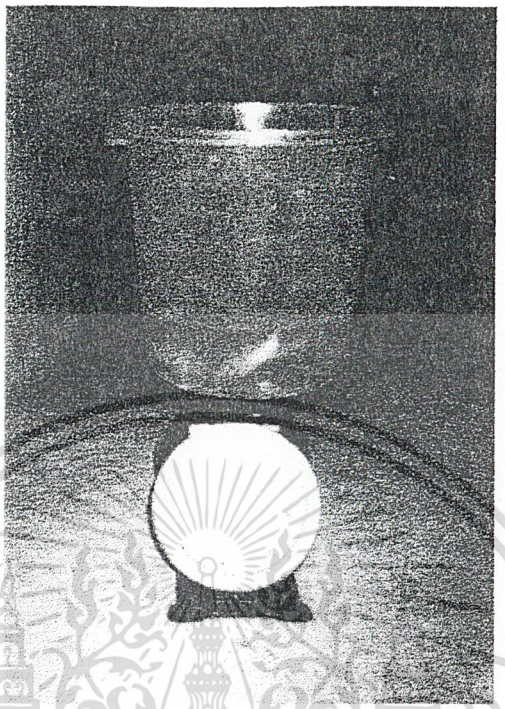


รูปที่ ข.9 แสดงบ่อคอนกรีตที่ใช้เลี้ยงปลา

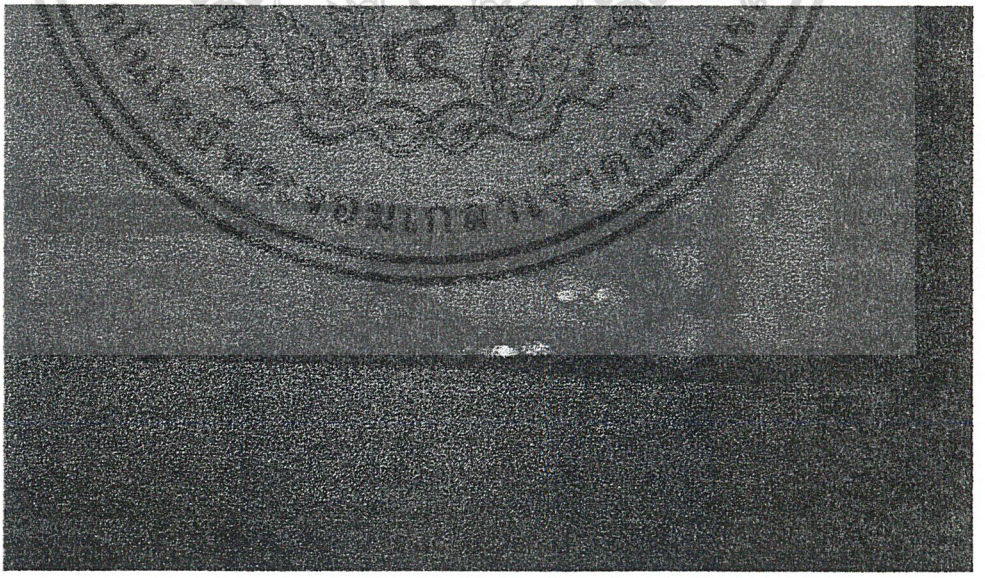


รูปที่ ข.10 แสดงวิธีการให้อาหารปลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

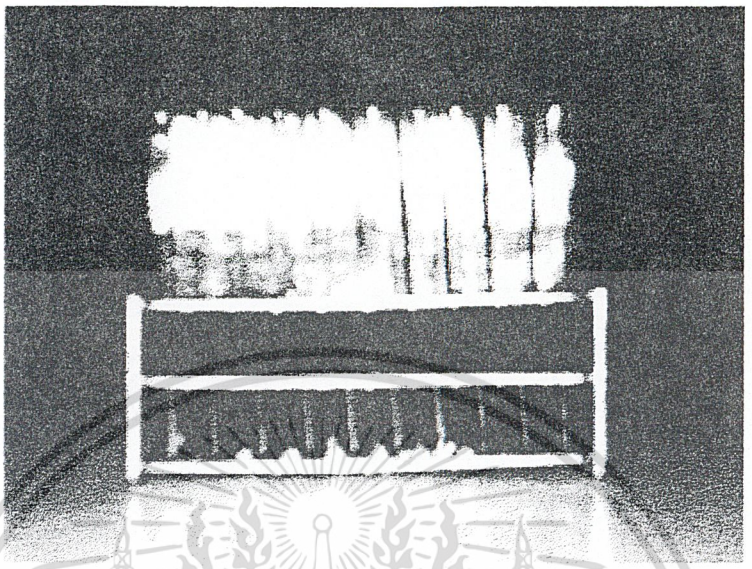


รูปที่ ข.11 แสดงการชั่งหาน้ำหนักของปลา

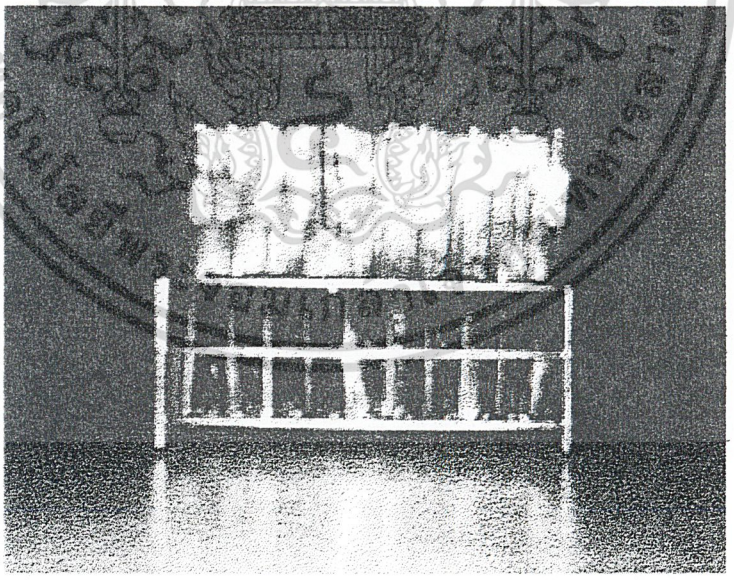


รูปที่ ข.12 แสดงวิธีการวัดความยาวปลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

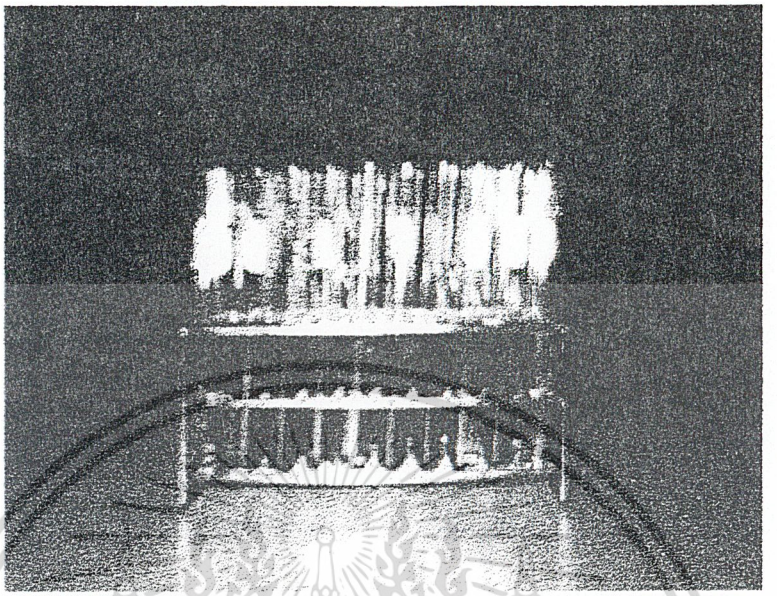


รูปที่ ข.13 แสดงการหาปริมาณ SRP

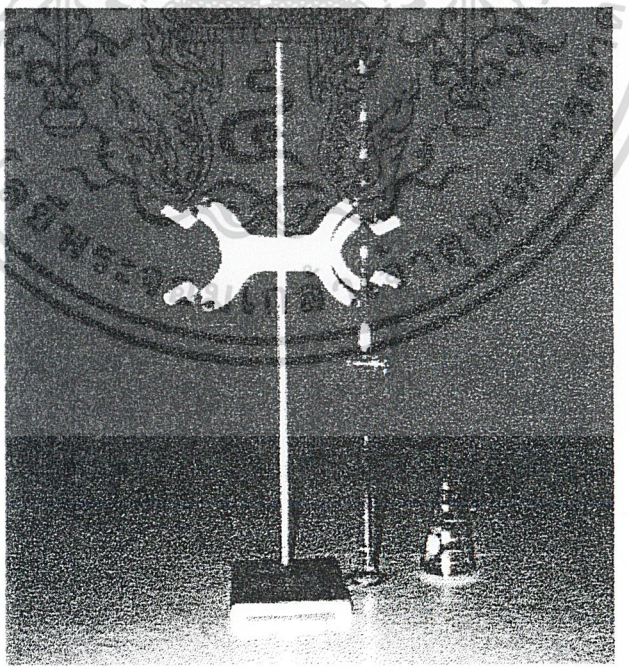


รูปที่ ข.14 แสดงการหาปริมาณแอมโมเนีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

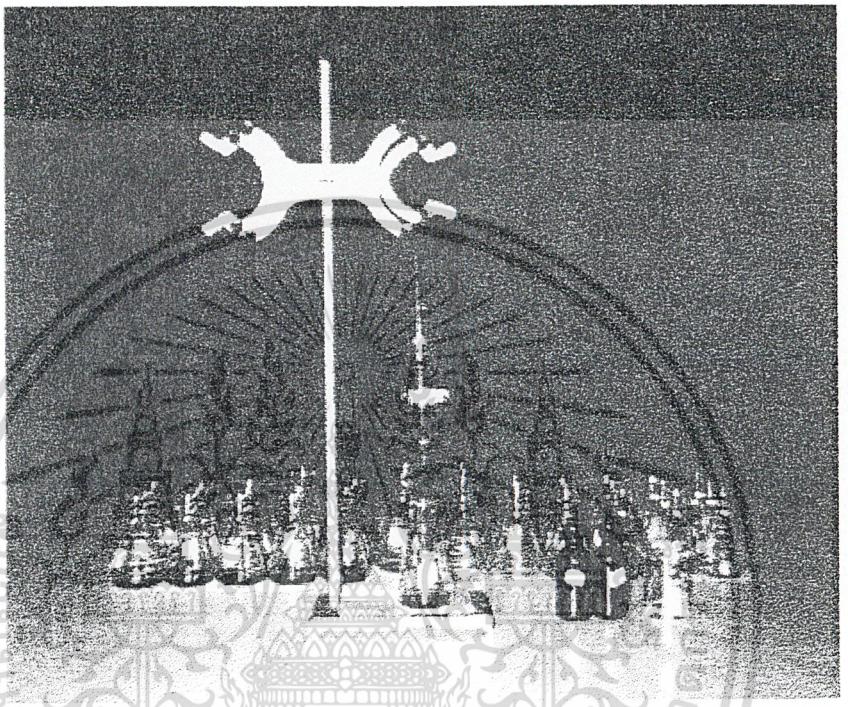


รูปที่ ข.15 แสดงการหาปริมาณไนไตรท์



รูปที่ ข.16 แสดงการหาปริมาณไนเตรท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.17 แสดงการหาปริมาณ Alkalinity

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 แสดงการคำนวณคุณค่าทางโภชนาการเมื่อทราบปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ของอาหารสูตร 1 (กลุ่มควบคุม)

วัตถุดิบ	ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ทำอาหาร (g)	โปรตีน		ไขมัน		เถ้า		ความชื้น		เยื่อใย		NFE	
		%	ปริมาณในอาหาร	%	ปริมาณในอาหาร	%	ปริมาณในอาหาร	%	ปริมาณในอาหาร	%	ปริมาณในอาหาร	%	ปริมาณในอาหาร
ปลาป่น	43.00	51.98	22.35	5.49	2.36	29.99	12.90	8.96	3.85	1.14	0.49	2.44	1.05
กากถั่วเหลือง	14.50	50.52	7.33	1.62	0.23	7.33	1.06	8.96	1.30	5.34	0.77	26.24	3.80
ข้าวโพด	8.25	5.40	0.45	2.16	0.18	2.36	0.19	9.06	0.75	3.47	0.29	77.55	6.40
แป้งมันสำปะหลัง	26.75	-	-	0.45	0.12	2.02	0.54	6.99	1.87	0.27	0.07	90.27	24.15
น้ำมัน	6.50	-	-	100.00	6.50	-	-	-	-	-	-	-	-
Premix	0.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DCP	0.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ตะกอน	-	28.19	-	0.64	-	24.04	-	7.46	-	-	-	39.67	-
รวม	100.00		30.12		9.39		14.69		7.77		1.62		35.40

ตารางที่ ค.2 แสดงการคำนวณคุณค่าทางโภชนาการเมื่อทราบปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ของอาหารสูตร 2 (ตะกอน 5%)

วัตถุดิบ	ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ทำอาหาร (g)	โปรตีน		ไขมัน		เถ้า		ความชื้น		เยื่อใย		NFE	
		%	ปริมาณในอาหาร	%	ปริมาณในอาหาร	%	ปริมาณในอาหาร	%	ปริมาณในอาหาร	%	ปริมาณในอาหาร	%	ปริมาณในอาหาร
ปลาป่น	42.00	51.98	21.83	5.49	2.31	29.99	12.60	8.96	3.76	1.14	0.48	2.44	1.02
กากถั่วเหลือง	12.75	50.52	6.44	1.62	0.21	7.33	0.93	8.96	1.14	5.34	0.68	26.24	3.35
ข้าวโพด	6.75	5.40	0.36	2.16	0.15	2.36	0.16	9.06	0.61	3.47	0.23	77.55	5.23
แป้งมันสำปะหลัง	26.00	-	-	0.45	0.12	2.02	0.53	6.99	1.82	0.27	0.07	90.27	23.47
น้ำมัน	6.50	-	-	100.00	6.50	-	-	-	-	-	-	-	-
Premix	0.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DCP	0.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ตะกอน	5.00	28.19	1.41	0.64	0.03	24.04	1.20	7.46	0.37	-	-	39.67	1.98
รวม	100.00		30.05		9.31		15.42		7.71		1.46		35.06

ตารางที่ ค.3 แสดงการคำนวณคุณค่าทางโภชนาการเมื่อทราบปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ของอาหารสูตร 3 (ตะกอน 10%)

วัตถุดิบ	ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ทำอาหาร (g)	โปรตีน		ไขมัน		เถ้า		ความชื้น		เยื่อใย		NFE	
		%	ปริมาณในอาหาร	%	ปริมาณในอาหาร	%	ปริมาณในอาหาร	%	ปริมาณในอาหาร	%	ปริมาณในอาหาร	%	ปริมาณในอาหาร
ปลาป่น	40.75	51.98	21.18	5.49	2.24	29.99	12.22	8.96	3.65	1.14	0.46	2.44	0.99
กากถั่วเหลือง	11.50	50.52	5.81	1.62	0.19	7.33	0.84	8.96	1.03	5.34	0.61	26.24	3.02
ข้าวโพด	5.50	5.40	0.30	2.16	0.12	2.36	0.13	9.06	0.50	3.47	0.19	77.55	4.27
แป้งมันสำปะหลัง	24.75	-	-	0.45	0.11	2.02	0.50	6.99	1.73	0.27	0.07	90.27	22.34
น้ำมัน	6.50	-	-	100.00	6.50	-	-	-	-	-	-	-	-
Premix	0.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DCP	0.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ตะกอน	10.00	28.19	2.82	0.64	0.06	24.04	2.40	7.46	0.75	-	-	39.67	3.97
รวม	100.00		30.11		9.22		16.10		7.66		1.34		34.59

ตารางที่ ค.4 แสดงการคำนวณคุณค่าทางโภชนาการเมื่อทราบปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ของอาหารสูตร 4 (ตะกอน 20%)

วัตถุดิบ	ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ทำอาหาร (g)	โปรตีน		ไขมัน		เถ้า		ความชื้น		เยื่อใย		NFE	
		%	ปริมาณในอาหาร	%	ปริมาณในอาหาร	%	ปริมาณในอาหาร	%	ปริมาณในอาหาร	%	ปริมาณในอาหาร	%	ปริมาณในอาหาร
ปลาป่น	38.50	51.98	20.01	5.49	2.11	29.99	11.55	8.96	3.45	1.14	0.44	2.44	0.94
กากถั่วเหลือง	8.00	50.52	4.04	1.62	0.13	7.33	0.59	8.96	0.72	5.34	0.43	26.24	2.10
ข้าวโพด	3.25	5.40	0.18	2.16	0.07	2.36	0.08	9.06	0.29	3.47	0.11	77.55	2.52
แป้งมันสำปะหลัง	22.75	-	-	0.45	0.10	2.02	0.46	6.99	1.59	0.27	0.06	90.27	20.54
น้ำมัน	6.50	-	-	100.00	6.50	-	-	-	-	-	-	-	-
Premix	0.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DCP	0.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ตะกอน	20.00	28.19	5.64	0.64	0.13	24.04	4.81	7.46	1.49	-	-	39.67	7.93
รวม	100.00		29.87		9.04		17.48		7.54		1.04		34.03

ตารางที่ ค.5 แสดงช่วงเวลาในการชั่งวัดปลาในแต่ละครั้ง

การชั่งวัดปลาครั้งที่	ระยะเวลาที่เลี้ยง (วัน)
1	16
2	31
3	46
4	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.6 แสดงการสุ่มชั่งวัดปลาครั้งที่ 1

การสุ่มจับปลา	T_1R_1		T_1R_2		T_1R_3		T_2R_1		T_2R_2		T_2R_3		T_3R_1		T_3R_2		T_3R_3		T_4R_1		T_4R_2		T_4R_3	
ตัวที่	cm	g	cm	g	cm	g	cm	g	cm	g	cm	g	cm	g	cm	g	cm	g	cm	g	cm	g	cm	g
1	11.0	45	8.0	22	10.0	41	7.5	16	8.5	23	8.5	27	10.0	34	11.0	40	10.0	46	10.5	58	9.5	38	10.0	43
2	9.0	30	9.0	29	10.5	42	10.0	39	11.0	46	8.5	25	11.0	52	11.0	43	9.0	29	10.5	42	10.0	45	11.0	54
3	9.5	32	9.0	27	10.0	45	9.5	37	10.0	39	9.0	33	9.0	32	11.5	47	9.5	31	10.0	44	10.0	43	11.5	66
4	8.0	22	9.5	38	9.5	37	9.5	38	11.0	56	10.0	43	10.0	44	9.0	27	10.0	40	10.0	39	10.0	47	10.5	45
5	10.5	53	9.5	34	11.0	48	10.0	39	8.0	23	9.0	31	9.0	31	8.0	21	9.0	34	10.0	35	10.0	45	10.0	38
6	7.5	13	8.0	24	10.0	34	9.0	27	9.0	28	10.5	44	10.0	44	10.0	31	8.0	19	10.5	45	8.0	20	8.5	23
7	9.5	32	8.5	25	9.5	36	8.5	25	9.0	27	9.0	29	10.0	40	9.0	28	10.0	36	10.5	36	9.0	30	10.0	39
8	9.5	38	8.0	20	9.0	25	9.0	28	7.0	38	10.5	44	10.5	56	9.5	33	8.0	18	10.0	47	10.0	38	8.5	26
9	8.0	18	7.0	12	8.0	24	9.0	25	8.0	18	9.0	36	9.5	34	8.5	25	8.0	24	9.5	33	9.0	36	8.0	21
10	8.5	17	7.0	12	7.0	11	6.0	9	6.0	9	7.5	16	8.5	28	8.0	19	10.5	17	10.5	43	8.0	21	8.0	21
เฉลี่ย	9.10	30.00	8.35	24.30	9.45	34.30	8.80	28.30	8.75	30.70	9.15	32.80	9.75	39.50	9.55	31.40	9.20	29.40	10.20	42.20	9.35	36.30	9.60	37.60
SD	1.13	12.88	0.91	8.42	1.19	11.31	1.23	10.25	1.62	14.02	0.94	9.19	0.75	9.37	1.28	9.36	0.95	9.87	0.35	7.22	0.82	9.75	1.26	15.13
จำนวนปลาที่เหลือรอด (ตัว)	40 ตัว		40 ตัว		40 ตัว		37 ตัว		40 ตัว		40 ตัว		40 ตัว		40 ตัว		40 ตัว		40 ตัว		40 ตัว		40 ตัว	

ตารางที่ ค.7 แสดงการสุ่มชั่งวัดปลาครั้งที่ 2

การสุ่มจับปลาตัวที่	T_1R_1		T_1R_2		T_1R_3		T_2R_1		T_2R_2		T_2R_3		T_3R_1		T_3R_2		T_3R_3		T_4R_1		T_4R_2		T_4R_3	
	cm	g	cm	g	cm	g	cm	g	cm	g	cm	g	cm	g	cm	g	cm	g	cm	g	cm	g	cm	g
1	11.0	50	10.2	42	11.1	54	10.1	35	12.5	79	11.2	52	11.7	56	10.1	38	10.4	41	12.0	67	9.0	27	15.0	60
2	11.3	58	11.4	61	11.9	65	11.2	49	11.0	51	13.6	92	9.9	40	9.5	33	10.7	39	11.5	65	11.0	49	13.0	73
3	10.5	41	10.4	42	12.0	72	12.0	59	13.0	78	12.5	74	12.4	78	11.0	55	11.0	51	10.0	38	11.5	53	11.9	57
4	11.9	61	10.0	37	10.5	43	11.0	58	11.8	52	11.1	52	12.2	67	12.0	66	10.3	43	11.4	59	11.9	58	13.6	92
5	11.1	53	9.0	28	12.2	65	10.0	31	12.4	72	11.5	58	10.0	35	11.5	64	10.0	37	11.1	49	11.5	50	11.0	55
6	9.4	29	11.3	60	12.3	70	11.0	48	10.9	56	9.6	33	11.5	55	12.5	72	11.0	49	11.0	46	11.5	57	12.0	67
7	11.2	53	9.8	36	10.2	36	9.2	30	10.6	45	12.1	65	11.0	56	10.9	49	10.4	42	10.1	41	10.9	50	12.0	66
8	9.5	28	10.6	42	11.0	44	9.6	34	10.5	40	11.9	61	10.1	39	12.5	78	10.3	41	11.4	56	11.8	62	10.4	41
9	10.5	33	10.3	43	11.5	55	10.5	44	10.4	48	10.6	47	12.0	63	12.0	72	10.7	43	10.0	40	11.0	50	10.0	36
10	11.7	61	10.5	44	12.3	62	9.9	37	10.3	43	11.6	63	11.0	50	10.5	45	11.5	60	11.5	60	10.9	49	10.4	39
11	11.5	50	11.4	47	10.2	38	9.3	29	11.6	59	11.0	49	11.7	61	12.3	67	11.0	52	10.9	51	12.0	59	11.2	44
12	12.4	79	10.3	38	11.0	48	10.0	38	11.5	63	10.4	41	10.5	42	11.0	54	9.5	32	10.1	45	10.1	43	10.5	46
13	10.1	39	9.0	28	11.2	57	10.6	46	12.1	68	12.5	72	10.6	48	11.5	57	10.5	48	11.4	57	11.2	61	11.3	48
14	9.4	32	12.3	63	10.5	42	10.7	46	12.0	73	9.7	37	10.9	57	10.5	44	10.3	42	11.7	57	11.0	45	9.4	29
15	10.0	33	9.7	35	11.0	53	10.5	44	9.6	36	10.0	36	11.7	55	12.3	68	10.0	38	11.0	50	10.9	43	9.5	32
16	10.3	39	9.8	34	9.5	32	10.0	34	9.2	30	11.8	59	11.5	64	9.4	29	10.5	47	10.9	46	11.0	46	9.2	27
17	11.0	44	10.8	44	11.2	44	9.9	36	9.9	35	10.4	41	11.4	53	10.4	25	11.5	56	11.3	48	10.3	39	10.5	41
18	10.9	44	11.4	57	11.0	49	9.8	39	10.5	48	10.9	51	12.5	74	11.0	54	10.0	40	12.9	82	10.5	47	10.0	35
19	9.0	26	10.2	40	11.6	60	10.9	52	10.5	46	9.6	32	9.0	28	10.0	33	9.8	35	10.5	45	11.2	60	8.8	25
20	12.3	66	9.2	28	10.7	54	9.9	36	11.5	58	11.7	47	13.0	83	10.3	50	10.0	40	10.6	40	9.4	31	7.5	14
เฉลี่ย	10.75	45.95	10.38	42.45	11.15	52.15	10.31	41.25	11.09	54.00	11.19	53.10	11.23	55.20	11.06	52.65	10.47	43.80	11.07	52.10	10.93	48.95	10.86	46.35
SD	0.98	14.31	0.87	10.67	0.76	11.37	0.69	8.86	1.02	14.54	1.07	15.32	1.00	14.26	0.98	15.61	0.54	7.10	0.73	10.95	0.77	9.48	1.74	18.81
จำนวนปลาที่เหลือรอด (ตัว)	40 ตัว		36 ตัว		39 ตัว		35 ตัว		36 ตัว		40 ตัว		40 ตัว		40 ตัว		40 ตัว		40 ตัว		40 ตัว		37 ตัว	

ตารางที่ ค.8 แสดงการสุ่มชั่งวัดปลาครั้งที่ 3

การสุ่มจับปลา ตัวที่	T_1R_1		T_1R_2		T_1R_3		T_2R_1		T_2R_2		T_2R_3		T_3R_1		T_3R_2		T_3R_3		T_4R_1		T_4R_2		T_4R_3	
	cm	g	cm	g	cm	g	cm	g	cm	g	cm	g	cm	g	cm	g	cm	g	cm	g	cm	g	cm	g
1	9.5	36	11.5	60	13.5	100	12.0	90	13.0	120	13.8	100	14.3	120	16.0	120	12.8	84	12.5	72	12.5	70	12.5	144
2	11.0	44	12.0	60	13.0	90	12.5	96	14.0	102	15.0	150	14.2	100	10.0	80	12.0	60	12.2	76	13.5	80	13.0	94
3	10.0	104	12.5	70	11.0	50	11.0	60	12.0	80	13.0	100	12.7	80	10.5	80	12.5	60	12.5	80	14.6	70	14.2	96
4	12.0	80	12.6	62	13.0	110	11.3	76	13.0	96	13.5	90	14.5	110	12.5	50	11.5	60	11.0	38	12.5	60	15.0	130
5	11.0	60	13.2	96	11.5	60	11.5	60	13.0	84	13.0	90	12.7	110	14.0	84	12.0	84	12.7	80	12.0	60	14.0	110
6	12.5	78	13.5	84	12.0	70	12.0	90	13.0	56	12.3	76	12.0	70	12.5	50	11.6	70	12.7	82	13.0	76	12.7	86
7	11.0	50	13.0	88	13.0	96	11.8	60	11.0	62	13.3	82	12.0	78	12.5	56	12.0	74	11.0	50	13.0	68	12.8	90
8	10.5	40	11.5	70	13.3	98	11.5	80	14.0	110	12.8	82	13.0	86	13.5	70	12.5	80	10.2	40	12.0	64	11.5	64
9	14.5	100	12.0	70	11.4	62	12.5	60	13.0	70	12.3	74	15.0	120	12.0	40	12.0	70	12.5	84	12.5	74	12.0	64
10	12.0	60	12.0	70	13.0	86	11.5	70	13.0	64	11.7	64	12.5	78	16.0	110	12.0	60	14.0	110	13.0	70	12.0	64
11	12.0	60	11.5	60	13.0	84	12.5	76	14.5	124	12.5	86	12.5	88	12.5	50	10.0	60	11.5	56	11.5	58	11.0	44
12	12.0	58	12.5	80	14.0	100	11.9	64	13.0	80	11.8	70	13.0	100	13.5	36	10.0	40	12.2	78	13.0	76	11.8	76
13	16.0	100	13.5	124	12.5	80	11.5	64	15.0	64	12.4	60	12.7	76	9.5	30	11.0	46	11.5	60	12.0	56	12.0	60
14	16.0	98	13.0	60	12.5	60	10.7	48	14.0	120	13.5	86	13.5	96	15.0	100	9.0	38	12.0	60	12.5	70	12.0	60
15	15.0	60	13.0	70	12.5	64	10.2	46	12.5	72	12.5	78	11.5	60	15.0	104	11.5	60	12.0	60	12.0	60	12.6	66
16	11.5	60	11.7	60	13.5	82	10.5	52	9.5	38	12.0	66	11.0	64	15.0	100	11.0	60	11.6	60	10.5	40	10.5	48
17	16.0	90	11.2	50	12.0	60	9.5	40	15.0	98	13.0	80	10.7	50	15.5	90	11.5	70	11.7	60	12.0	70	11.0	60
18	11.5	60	10.3	50	11.3	58	10.5	44	15.0	78	11.5	56	12.0	68	12.0	60	12.5	70	11.0	60	9.5	30	11.2	64
19	15.5	70	10.3	50	11.5	60	10.7	44	11.0	50	12.0	60	10.5	50	14.5	84	11.2	60	11.5	60	10.0	56	10.5	50
20	10.0	30	9.0	30	11.4	50	10.3	40	11.0	80	12.0	70	10.0	42	14.5	80	11.0	60	10.5	40	9.0	30	10.2	42
เฉลี่ย	12.48	66.90	11.99	68.20	12.45	76.00	11.30	63.00	12.98	82.40	12.70	81.00	12.52	82.30	13.33	73.70	11.48	63.30	11.84	65.30	12.03	61.90	12.13	75.60
SD	2.19	22.46	1.17	19.88	0.88	18.75	0.85	17.28	1.50	24.33	0.85	20.58	1.37	23.19	1.93	26.18	0.96	12.59	0.88	17.65	1.37	14.24	1.28	27.91
จำนวนปลาที่เหลือรอด (ตัว)	40 ตัว		35 ตัว		38 ตัว		32 ตัว		35 ตัว		39 ตัว		39 ตัว		40 ตัว		40 ตัว		39 ตัว		40 ตัว		37 ตัว	

ตารางที่ ค.9 แสดงการสุ่มชั่งวัดปลาครั้งที่ 4

การสุ่มจับปลา ตัวที่	T_1R_1		T_1R_2		T_1R_3		T_2R_1		T_2R_2		T_2R_3		T_3R_1		T_3R_2		T_3R_3		T_4R_1		T_4R_2		T_4R_3	
	cm	g	cm	g	cm	g	cm	g	cm	g	cm	g	cm	g	cm	g	cm	g	cm	g	cm	g	cm	g
1	12.5	70	12.0	84	14..5	110	12.5	70	16.0	130	16.0	130	14.5	130	14.0	100	13.0	70	13.0	80	13.0	90	14.0	120
2	13.0	80	14.0	120	14.5	120	13.5	80	15.5	130	14.0	120	15.0	110	13.0	100	13.5	90	13.0	80	13.0	86	13.6	90
3	13.5	90	13.0	92	13.5	100	13.0	100	14.0	120	12.0	80	14.0	100	16.0	160	12.0	70	13.0	94	13.5	100	13.0	100
4	13.0	80	14.0	100	13.0	90	12.0	80	14.0	100	12.0	80	13.0	100	13.0	100	12.5	70	14.5	120	13.0	80	15.0	140
5	14.0	100	13.0	100	12.0	80	12.5	80	14.0	160	14.0	90	14.5	140	14.0	110	12.0	60	12.0	80	13.0	90	15.5	150
6	15.0	140	12.5	80	13.0	90	12.5	100	14.5	160	13.5	100	14.5	160	14.0	110	13.0	90	13.0	90	12.5	80	14.0	140
7	15.0	110	12.0	96	13.0	84	12.0	60	14.5	160	13.5	100	14.0	140	14.0	90	12.5	70	13.0	90	13.5	96	14.0	120
8	13.5	90	14.0	110	12.5	60	12.5	80	14.5	140	14.0	100	12.0	84	12.0	60	13.0	90	13.5	90	12.5	90	12.0	80
9	12.0	72	13.0	80	14.0	120	14.0	100	14.0	120	14	100	13.5	86	11.0	50	12.5	80	12.0	70	12.0	80	13.0	90
10	12.5	68	13.0	92	12.5	90	12.5	80	13.0	80	13.0	80	13.0	86	16.0	130	12.0	60	12.0	60	12.5	84	13.5	100
11	12.0	8	12.0	80	13.5	100	12.5	80	13.0	90	13.0	96	12.5	80	12.5	60	12.5	60	11.0	50	12.5	82	14.0	100
12	11.0	50	11.5	70	14.5	100	11.5	50	13.0	84	14.0	100	14.0	94	14.0	100	12.5	60	11.5	60	13.0	100	13.5	120
13	11.0	50	13.0	90	14.0	100	10.5	40	12.5	84	11.5	70	13.0	84	13.0	80	12.0	64	13.5	90	12.5	80	11.5	70
14	11.5	70	13.0	80	14.5	140	11.0	50	14.0	120	12.5	80	14.0	100	13.0	60	12.0	70	12.0	60	13.0	80	11.5	70
15	11.0	60	13.5	100	14.0	120	14.0	100	14.0	120	12.5	80	14.0	110	13.5	100	12.0	70	13.0	80	12.0	70	13.0	90
16	11.0	60	13.0	80	14.0	100	12.5	70	12.0	80	12.0	60	15.0	130	13.0	80	11.0	42	11.5	60	14.0	100	16.0	150
17	10.0	40	13.0	100	13.5	100	12.5	98	12.0	66	13.0	80	14.5	110	12.0	60	11.5	60	13.5	80	13.5	100	15.0	130
18	11.0	46	12.5	80	12.5	80	13.0	80	13.0	80	13.5	140	14.0	100	15.0	110	10.5	50	13.0	80	12.5	80	13.0	90
19	11.0	48	12.5	86	12.5	80	12.0	78	13.5	92	14.0	140	15.0	120	13.0	80	13.0	60	12.0	64	12.5	80	12.5	80
20	10.5	40	13.0	90	12.5	80	12.0	80	15.0	120	13.0	80	13.0	80	13.0	70	12.0	60	13.0	84	14.0	90	14.0	100
เฉลี่ย	12.20	68.60	12.88	90.50	13.34	97.20	12.43	77.80	13.80	111.80	13.25	95.30	13.85	107.20	13.45	90.50	12.25	67.30	12.65	78.10	12.90	86.90	13.58	106.50
SD	1.46	29.08	0.69	12.12	0.80	18.49	0.86	17.52	1.07	29.42	1.03	22.33	0.86	22.95	1.24	27.24	0.72	12.72	0.86	16.22	0.58	8.77	1.22	25.60
จำนวนปลาที่เหลือรอด (ตัว)	22 ตัว		35 ตัว		38 ตัว		32 ตัว		35 ตัว		39 ตัว		39 ตัว		40 ตัว		39 ตัว		39 ตัว		40 ตัว		37 ตัว	

ตารางที่ ค.10 แสดงน้ำหนักของปลานิลในการชั่งวัดแต่ละครั้ง

ตัวอย่าง	น้ำหนักของปลา (g) เมื่อทำการชั่งวัดครั้งที่									
	0 (เริ่มต้น)		1		2		3		4	
	ทั้งบ่อ	ต่อตัว	ทั้งบ่อ	ต่อตัว	ทั้งบ่อ	ต่อตัว	ทั้งบ่อ	ต่อตัว	ทั้งบ่อ	ต่อตัว
T_1R_1	529	13.23	867	21.68	1640	41.00	2150	53.75	1240	56.36
T_1R_2	486	12.15	745	18.63	1420	39.44	2030	58.00	2460	70.29
T_1R_3	435	10.88	850	21.25	1780	45.64	2600	68.42	2880	75.79
เฉลี่ย	483.33	12.08	820.67	20.52	1613.33	42.03	2260.00	60.06	2193.33	67.48
SD	47.06	1.18	66.08	1.65	181.48	3.22	300.50	7.55	851.90	10.01
T_2R_1	542	13.55	580	15.68	1200	34.29	1700	53.13	2110	65.94
T_2R_2	518	12.95	776	19.40	1620	45.00	2400	68.57	3290	94.00
T_2R_3	508	12.70	884	22.10	1960	49.00	2740	70.26	2960	75.90
เฉลี่ย	522.67	13.07	746.67	19.06	1593.33	42.76	2280.00	63.98	2786.67	78.61
SD	17.47	0.44	154.11	3.23	380.70	7.61	530.28	9.44	608.80	14.23
T_3R_1	545	13.63	895	22.38	1920	48.00	2770	71.03	3260	83.59
T_3R_2	537	13.43	750	18.75	1840	46.00	3100	77.50	3520	88.00
T_3R_3	533	13.33	685	17.13	1460	36.50	2090	52.25	2280	58.46
เฉลี่ย	538.33	13.46	776.67	19.42	1740.00	43.50	2653.33	66.93	3020.00	76.68
SD	6.11	0.15	107.51	2.69	245.76	6.14	515.01	13.11	653.91	15.93
T_4R_1	550	13.75	843	21.08	1820	45.50	2320	59.49	2520	64.62
T_4R_2	547	13.68	734	18.35	1700	42.50	2540	63.50	2630	65.75
T_4R_3	514	12.85	802	20.05	1720	46.49	2600	70.27	3150	85.14
เฉลี่ย	537.00	13.43	793.00	19.83	1746.67	44.83	2486.67	64.42	2766.67	71.83
SD	19.97	0.50	55.05	1.38	64.29	2.08	147.42	5.45	336.50	11.53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.11 แสดงน้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้นในการชั่งวัดแต่ละครั้ง

ตัวอย่าง	น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้นในการชั่งวัดแต่ละครั้ง (g)							
	1		2		3		4	
	ทั้งบ่อ	ต่อตัว	ทั้งบ่อ	ต่อตัว	ทั้งบ่อ	ต่อตัว	ทั้งบ่อ	ต่อตัว
T_1R_1	338	8.45	773	19.33	510	12.75	-910	2.61
T_1R_2	259	6.48	675	20.82	610	18.56	430	12.29
T_1R_3	415	10.38	930	24.39	820	22.78	280	7.37
เฉลี่ย	337.33	8.43	792.67	21.51	646.67	18.03	-66.67	7.42
SD	78.00	1.95	128.63	2.60	158.22	5.04	734.19	4.84
T_2R_1	38	2.13	620	18.61	500	18.84	410	12.81
T_2R_2	258	6.45	844	25.60	780	23.57	890	25.43
T_2R_3	376	9.40	1076	26.90	780	21.26	220	5.64
เฉลี่ย	224.00	5.99	846.67	23.70	686.67	21.22	506.67	14.63
SD	171.55	3.66	228.01	4.46	161.66	2.37	345.30	10.02
T_3R_1	350	8.75	1025	25.63	850	23.03	490	12.56
T_3R_2	213	5.33	1090	27.25	1260	31.50	420	10.50
T_3R_3	152	3.80	775	19.38	630	15.75	190	6.21
เฉลี่ย	238.33	5.96	963.33	24.08	913.33	23.43	366.67	9.76
SD	101.40	2.54	166.31	4.16	319.74	7.88	156.95	3.24
T_4R_1	293	7.33	977	24.43	500	13.99	200	5.13
T_4R_2	187	4.68	966	24.15	840	21.00	90	2.25
T_4R_3	288	7.20	918	26.44	880	23.78	550	14.86
เฉลี่ย	256.00	6.40	953.67	25.00	740.00	19.59	280.00	7.41
SD	59.81	1.50	31.37	1.25	208.81	5.05	240.21	6.61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.12 แสดงปริมาณอาหารที่ใช้เลี้ยงปลา

ตัวอย่าง	ปริมาณอาหาร (g) ในช่วงวันที่เลี้ยง							
	1 - 16		17 - 31		32 - 46		47 - 57	
	ทั้งบ่อ	ต่อตัว	ทั้งบ่อ	ต่อตัว	ทั้งบ่อ	ต่อตัว	ทั้งบ่อ	ต่อตัว
T_1R_1	799.51	19.99	848.33	21.21	1127.03	28.18	890.88	40.49
T_1R_2	753.39	18.83	859.03	23.86	1207.86	34.51	790.95	22.60
T_1R_3	867.37	21.68	964.85	24.74	1177.89	31.00	946.68	24.91
เฉลี่ย	806.76	20.17	890.74	23.27	1170.93	31.23	876.17	29.34
SD	57.33	1.43	64.41	1.84	40.86	3.17	78.90	9.73
T_2R_1	734.60	19.85	855.95	24.46	882.64	27.58	945.6	29.55
T_2R_2	827.09	20.68	969.22	26.92	1332.07	38.06	943.45	26.96
T_2R_3	837.68	20.94	971.25	24.28	1426.68	36.58	949.05	24.33
เฉลี่ย	799.79	20.49	932.14	25.22	1213.80	34.07	946.03	26.95
SD	56.70	0.57	65.99	1.48	290.67	5.67	2.83	2.61
T_3R_1	827.58	20.69	947.05	23.68	1194.21	30.62	922.14	23.64
T_3R_2	804.30	20.11	948.47	23.71	1312.86	32.82	766.42	19.16
T_3R_3	803.72	20.09	936.29	23.41	1069.82	26.75	922.18	23.65
เฉลี่ย	811.87	20.30	943.94	23.60	1192.30	30.06	870.25	22.15
SD	13.61	0.34	6.66	0.17	121.53	3.08	89.92	2.59
T_4R_1	815.08	20.38	968.02	24.20	1043.41	26.75	917.59	23.53
T_4R_2	839.67	20.99	968.11	24.20	1069.40	26.74	920.45	23.01
T_4R_3	797.02	19.93	968.65	26.18	1342.51	36.28	942.83	25.48
เฉลี่ย	817.26	20.43	968.26	24.86	1151.77	29.92	926.96	24.01
SD	21.41	0.54	0.34	1.14	165.69	5.51	13.82	1.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.13 แสดงน้ำหนักของปลาที่เพิ่มขึ้นต่อวัน (DWG)

ตัวอย่าง	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นต่อวัน (g/day) ในช่วงวันที่เลี้ยง									
	1 - 16		17 - 31		32 - 46		47 - 57		เฉลี่ย	
	ทั้งบ่อ	ต่อตัว	ทั้งบ่อ	ต่อตัว	ทั้งบ่อ	ต่อตัว	ทั้งบ่อ	ต่อตัว	ทั้งบ่อ	ต่อตัว
T_1R_1	21.13	0.53	51.53	1.29	34.00	0.85	-82.73	0.24	5.98	0.73
T_1R_2	16.19	0.40	45.00	1.39	40.67	1.24	39.09	1.12	35.24	1.04
T_1R_3	25.94	0.65	62.00	1.63	54.67	1.52	25.45	0.67	42.01	1.12
เฉลี่ย	21.08	0.53	52.84	1.43	43.11	1.20	-6.06	0.67	27.74	0.96
SD	4.88	0.12	8.58	0.17	10.55	0.34	66.74	0.44	19.15	0.21
T_2R_1	2.38	0.13	41.33	1.24	33.33	1.26	37.27	1.16	28.58	0.95
T_2R_2	16.13	0.40	56.27	1.71	52.00	1.57	80.91	2.31	51.33	1.50
T_2R_3	23.50	0.59	71.73	1.79	52.00	1.42	20.00	0.51	41.81	1.08
เฉลี่ย	14.00	0.37	56.44	1.58	45.78	1.41	46.06	1.33	40.57	1.17
SD	10.72	0.23	15.20	0.30	10.78	0.16	31.39	0.91	11.42	0.29
T_3R_1	21.88	0.55	68.33	1.71	56.67	1.54	44.55	1.14	47.86	1.23
T_3R_2	13.31	0.33	72.67	1.82	84.00	2.10	38.18	0.95	52.04	1.30
T_3R_3	9.50	0.24	51.67	1.29	42.00	1.05	17.27	0.56	30.11	0.79
เฉลี่ย	14.90	0.37	64.22	1.61	60.89	1.56	33.33	0.89	43.34	1.11
SD	6.34	0.16	11.09	0.28	21.32	0.53	14.27	0.29	11.64	0.28
T_4R_1	18.31	0.46	65.13	1.63	33.33	0.93	200.00	0.47	79.19	0.87
T_4R_2	11.69	0.29	64.40	1.61	56.00	1.40	90.00	0.20	55.52	0.88
T_4R_3	18.00	0.45	61.20	1.76	58.67	1.59	550.00	1.35	171.97	1.29
เฉลี่ย	16.00	0.40	63.58	1.67	49.33	1.31	280.00	0.67	102.23	1.01
SD	3.74	0.09	2.09	0.08	13.92	0.34	240.21	0.60	61.54	0.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.14 แสดงอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR)

ตัวอย่าง	อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อต่อปลาหนึ่งตัว (FCR) ในช่วงวันที่เลี้ยง				
	1 - 16	17 - 31	32 - 46	47 - 57	เฉลี่ย
T_1R_1	2.37	1.10	2.21	15.49	5.29
T_1R_2	2.91	1.15	1.86	1.84	1.94
T_1R_3	2.09	1.01	1.36	3.38	1.96
เฉลี่ย	2.45	1.09	1.81	6.90	3.06
SD	0.42	0.07	0.43	7.48	1.93
T_2R_1	9.34	1.31	1.46	2.31	3.61
T_2R_2	3.21	1.05	1.61	1.06	1.73
T_2R_3	2.23	0.90	1.72	4.31	2.29
เฉลี่ย	4.92	1.09	1.60	2.56	2.54
SD	3.86	0.21	0.13	1.64	0.96
T_3R_1	2.36	0.92	1.33	1.88	1.63
T_3R_2	3.78	0.87	1.04	1.82	1.88
T_3R_3	5.29	1.21	1.70	3.81	3.00
เฉลี่ย	3.81	1.00	1.36	2.50	2.17
SD	1.46	0.18	0.33	1.13	0.73
T_4R_1	2.78	0.99	1.91	4.59	2.57
T_4R_2	4.49	1.00	1.27	10.23	4.25
T_4R_3	2.77	0.99	1.53	1.71	1.75
เฉลี่ย	3.35	0.99	1.57	5.51	2.86
SD	0.99	0.01	0.32	4.33	1.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.15 แสดงอัตรารอด (Survival Rate)

ตัวอย่าง	อัตรารอดในช่วงวันที่เลี้ยง (ร้อยละ)			
	1 - 16	17 - 31	32 - 46	47 - 57
T_1R_1	100.00	100.00	100.00	55.00
T_1R_2	100.00	90.00	87.50	87.50
T_1R_3	100.00	97.50	95.00	95.00
เฉลี่ย	100.00	95.83	94.17	79.17
SD	0.00	5.20	6.29	21.26
T_2R_1	92.50	87.50	80.00	80.00
T_2R_2	100.00	90.00	87.50	87.50
T_2R_3	100.00	100.00	97.50	97.50
เฉลี่ย	97.50	92.50	88.33	88.33
SD	4.33	6.61	8.78	8.78
T_3R_1	100.00	100.00	97.50	97.50
T_3R_2	100.00	100.00	100.00	100.00
T_3R_3	100.00	100.00	100.00	97.50
เฉลี่ย	100.00	100.00	99.17	98.33
SD	0.00	0.00	1.44	1.44
T_4R_1	100.00	100.00	97.50	97.50
T_4R_2	100.00	100.00	100.00	100.00
T_4R_3	100.00	92.50	92.50	92.50
เฉลี่ย	100.00	97.50	96.67	96.67
SD	0.00	4.33	3.82	3.82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.1 แสดงค่ามาตรฐานทางเคมีของน้ำที่มีผลต่อสุขภาพปลาที่ถูกนำมาเลี้ยงในน้ำเย็น และน้ำอุ่น

พารามิเตอร์	ค่ามาตรฐานที่ยอมรับ
DO	4 mg/L (น้ำอุ่น) , 6 mg/L (น้ำเย็น)
Acidity	pH 6 - 9
Ammonia (Un-ionized)	< 0.02 mg/L
Nitrite (NO_2^-)	< 0.1 mg/L
Nitrate (NO_3^-)	< 1.0 mg/L
Alkalinity	> 20 mg/L (as $CaCO_3$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.2 แสดงช่วงเวลาวิเคราะห์และการเปลี่ยนถ่ายน้ำในแต่ละครั้ง

การวิเคราะห์น้ำและการเปลี่ยนถ่ายน้ำครั้งที่	ระยะเวลาที่เลี้ยง (วัน)
0	0
1	8
2	16
3	22
4	31
5	37
6	43
7	51
8	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.3 แสดงอุณหภูมิของน้ำในบ่อเลี้ยงปลา

ระยะเวลาที่เลี้ยง (วัน)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)															
	T_1R_1	T_1R_2	T_1R_3	เฉลี่ย	T_2R_1	T_2R_2	T_2R_3	เฉลี่ย	T_3R_1	T_3R_2	T_3R_3	เฉลี่ย	T_4R_1	T_4R_2	T_4R_3	เฉลี่ย
0	27.4	27.4	27.5	27.4	27.5	27.6	27.5	27.5	27.6	27.2	27.5	27.6	27.4	27.5	27.3	27.5
8	27.1	27.6	27.3	27.3	27.6	27.8	27.3	27.6	27.8	27.3	27.6	27.6	27.5	27.6	27.3	27.5
16	26.7	27.2	27.1	27.0	27.3	27.1	27.1	27.2	27.1	26.7	27.3	27.0	27.2	27.2	26.8	27.1
22	25.1	25.2	25.0	25.1	25.5	25.2	25.2	25.3	25.3	24.8	25.6	25.2	25.4	25.4	24.8	25.2
31	27.9	28.0	27.9	27.9	28.1	28.0	27.9	28.0	27.9	28.0	28.0	28.0	27.8	28.2	28.0	28.0
37	28.4	27.2	28.3	28.0	28.5	28.6	28.3	28.5	28.7	28.3	28.5	28.5	28.6	28.5	28.4	28.5
43	27.0	27.7	27.1	27.3	27.3	26.9	27.3	27.2	27.1	26.9	27.4	27.1	27.3	27.4	27.1	27.3
51	27.1	27.7	27.1	27.3	27.5	27.7	27.7	27.6	27.9	27.2	27.5	27.5	27.5	27.5	27.3	27.4
56	28.0	28.0	27.8	27.9	28.0	27.8	27.9	27.9	28.1	27.6	28.0	27.9	28.0	27.8	27.8	27.9

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.4 แสดงค่าพีเอชของน้ำในบ่อเลี้ยงปลา

ระยะเวลาที่เลี้ยง (วัน)	ค่าพีเอช															
	T_1R_1	T_1R_2	T_1R_3	เฉลี่ย	T_2R_1	T_2R_2	T_2R_3	เฉลี่ย	T_3R_1	T_3R_2	T_3R_3	เฉลี่ย	T_4R_1	T_4R_2	T_4R_3	เฉลี่ย
0	8.20	8.37	8.47	8.33	8.39	8.57	8.81	8.55	7.76	8.56	8.42	8.10	8.06	8.42	8.58	8.30
8	8.26	8.49	8.75	8.74	8.46	8.53	8.79	8.57	7.98	8.44	8.34	8.21	8.13	8.27	8.54	8.28
16	8.91	8.54	8.73	8.70	8.48	8.62	8.75	8.60	8.83	8.81	8.57	8.72	8.67	8.37	8.79	8.57
22	8.50	8.58	8.60	8.55	8.63	8.26	8.64	8.47	8.51	8.57	8.41	8.49	8.48	8.60	8.68	8.59
31	7.84	7.53	7.41	7.56	7.61	7.38	7.44	7.47	7.37	7.73	7.76	7.58	7.58	7.36	7.47	7.46
37	7.12	7.22	7.28	7.20	7.40	7.22	7.28	7.29	7.13	7.04	7.30	7.14	7.21	7.29	7.05	7.17
43	6.93	7.43	6.96	7.06	7.21	7.28	7.22	7.24	6.90	7.21	7.03	7.03	7.06	7.23	6.95	7.06
51	7.31	7.43	7.37	7.37	7.46	7.19	7.37	7.32	7.34	7.40	7.37	7.37	7.37	7.42	7.24	7.34
56	7.63	7.53	7.69	7.61	7.66	7.57	7.70	7.64	7.63	7.63	7.50	7.58	7.50	7.62	7.74	7.61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.5 แสดง DO ของน้ำในบ่อเลี้ยงปลา

ระยะเวลาที่เลี้ยง (วัน)	ค่า DO (mg/L)															
	T_1R_1	T_1R_2	T_1R_3	เฉลี่ย	T_2R_1	T_2R_2	T_2R_3	เฉลี่ย	T_3R_1	T_3R_2	T_3R_3	เฉลี่ย	T_4R_1	T_4R_2	T_4R_3	เฉลี่ย
0	7.30	5.97	6.68	6.65	5.43	6.02	7.51	6.32	7.52	7.74	6.85	7.37	6.37	6.52	7.08	6.66
8	6.21	5.83	6.46	6.17	6.48	5.24	8.14	6.62	6.64	7.09	6.02	6.58	6.45	5.69	6.60	6.25
16	8.09	1.58	7.08	5.58	0.38	3.02	6.32	3.24	7.87	7.26	3.93	6.35	4.55	3.95	6.95	5.15
22	5.56	6.56	5.89	6.00	4.53	5.13	6.53	5.40	5.98	7.12	2.63	5.24	5.21	5.50	7.22	5.98
31	1.29	3.55	3.44	2.76	0.65	3.75	3.00	2.47	4.16	4.02	0.57	2.92	2.59	1.63	3.83	2.68
37	3.00	2.30	2.46	2.59	2.08	3.19	2.44	2.57	2.17	3.28	1.25	2.23	1.82	1.84	3.21	2.29
43	4.88	4.51	4.02	4.47	3.48	4.09	3.28	3.62	2.40	4.12	2.16	2.89	3.40	3.55	4.06	3.67
51	8.09	11.12	4.96	8.16	7.72	9.25	9.38	8.78	8.83	11.36	4.34	8.18	4.42	6.87	10.50	7.26
56	1.91	1.84	2.45	2.07	2.08	2.97	2.59	2.55	2.60	2.70	1.05	2.12	1.19	1.55	3.30	2.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ง.6 แสดงปริมาณ SRP ของน้ำในบ่อเลี้ยงปลา

ระยะเวลาที่เลี้ยง (วัน)	ความเข้มข้นของ SRP (ppm)															
	T_1R_1	T_1R_2	T_1R_3	เฉลี่ย	T_2R_1	T_2R_2	T_2R_3	เฉลี่ย	T_3R_1	T_3R_2	T_3R_3	เฉลี่ย	T_4R_1	T_4R_2	T_4R_3	เฉลี่ย
0	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	0.86	0.76	0.46	0.69	0.76	0.63	0.63	0.67	0.62	0.52	0.59	0.58	0.49	0.55	0.46	0.50
16	0.89	0.74	0.70	0.78	0.25	0.54	0.78	0.52	0.94	0.72	0.46	0.71	0.46	0.42	0.46	0.45
22	0.82	0.65	0.69	0.72	0.58	0.35	0.77	0.56	1.02	0.88	0.55	0.81	0.35	0.41	0.43	0.40
31	1.36	1.11	1.41	1.29	0.77	0.75	1.06	0.86	1.15	1.16	0.78	1.03	0.72	0.82	1.04	0.86
37	0.84	0.84	0.80	0.83	0.58	0.49	0.77	0.61	0.71	0.81	0.36	0.63	0.41	0.42	0.80	0.54
43	0.90	0.89	0.88	0.89	0.60	0.74	1.13	0.82	0.76	1.79	0.53	0.69	0.58	0.63	0.75	0.65
51	0.45	0.95	0.76	0.72	0.33	0.89	0.99	0.74	0.97	1.73	0.67	0.79	0.67	0.67	0.88	0.74
56	0.27	0.68	0.86	0.60	0.40	0.55	0.56	0.50	0.90	0.85	0.47	0.74	0.63	0.49	0.68	0.60

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.7 แสดงปริมาณแอมโมเนีย (NH_3-N) ของน้ำในบ่อเลี้ยงปลา

ระยะเวลาที่เลี้ยง (วัน)	ความเข้มข้นของแอมโมเนีย (ppm)															
	T_1R_1	T_1R_2	T_1R_3	เฉลี่ย	T_2R_1	T_2R_2	T_2R_3	เฉลี่ย	T_3R_1	T_3R_2	T_3R_3	เฉลี่ย	T_4R_1	T_4R_2	T_4R_3	เฉลี่ย
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	0.21	0.32	0.45	0.33	0.32	0.34	0.53	0.40	0.11	0.26	0.23	0.20	0.14	0.34	0.32	0.27
16	0.62	0.30	0.43	0.45	0.30	0.38	0.45	0.38	0.54	0.53	0.38	0.48	0.56	0.26	0.53	0.45
22	0.28	0.33	0.33	0.31	0.33	0.19	0.41	0.31	0.28	0.33	0.23	0.28	0.28	0.33	0.41	0.34
31	0.10	0.04	0.03	0.06	0.05	0.03	0.04	0.04	0.03	0.06	0.07	0.05	0.05	0.03	0.04	0.04
37	0.02	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.01	0.03	0.02	0.02	0.04	0.02	0.03
43	0.01	0.03	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01
51	0.02	0.03	0.02	0.02	0.04	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.01	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02
56	0.05	0.04	0.06	0.05	0.06	0.05	0.06	0.06	0.06	0.05	0.04	0.05	0.04	0.05	0.06	0.05

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.8 แสดงปริมาณไนไตรท์ (NO_2 -N) ของน้ำในบ่อเลี้ยงปลา

ระยะเวลาที่เลี้ยง วัน	ความเข้มข้นของไนไตรท์ (ppm)															
	T_1R_1	T_1R_2	T_1R_3	เฉลี่ย	T_2R_1	T_2R_2	T_2R_3	เฉลี่ย	T_3R_1	T_3R_2	T_3R_3	เฉลี่ย	T_4R_1	T_4R_2	T_4R_3	เฉลี่ย
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	0.10	0.35	0.15	0.20	0.04	0.09	0.18	0.10	0.17	0.17	0.05	0.13	0.08	0.09	0.05	0.08
16	0.25	0.35	0.31	0.30	0.04	0.05	0.13	0.07	0.43	0.33	0.04	0.27	0.36	0.11	0.37	0.28
22	0.50	0.79	0.99	0.76	0.13	0.20	0.78	0.37	0.27	0.54	0.06	0.29	2.42	0.12	3.62	2.05
31	0.61	1.58	0.81	1.00	0.01	0.39	0.78	0.39	1.51	0.66	0.22	0.80	1.60	0.81	1.42	1.28
37	1.47	1.54	2.26	1.75	0.80	1.47	1.61	1.30	1.55	1.31	0.51	1.12	1.47	1.46	1.28	1.40
43	4.38	1.13	4.55	3.35	0.71	1.25	0.05	0.67	4.90	3.63	0.44	2.99	2.78	2.36	3.95	3.03
51	1.84	1.58	1.46	1.63	1.08	0.80	1.66	1.18	1.98	1.56	1.43	1.66	1.45	2.07	1.65	1.72
56	0.41	1.69	1.43	1.17	1.08	1.58	2.69	1.78	3.47	3.48	1.84	2.93	1.80	1.58	1.46	1.61

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.9 แสดงปริมาณไนเตรท (NO_3 - N) ของน้ำในบ่อเลี้ยงปลา

ระยะเวลาที่เลี้ยง (วัน)	ความเข้มข้นของไนเตรท (ppm)															
	T_1R_1	T_1R_2	T_1R_3	เฉลี่ย	T_2R_1	T_2R_2	T_2R_3	เฉลี่ย	T_3R_1	T_3R_2	T_3R_3	เฉลี่ย	T_4R_1	T_4R_2	T_4R_3	เฉลี่ย
0	0.09	0.03	0.00	0.04	0.03	0.00	0.07	0.03	0.07	0.00	0.00	0.02	0.04	12.61	0.00	0.02
8	0.08	0.31	0.01	0.14	0.00	0.00	0.08	0.03	0.40	0.00	0.00	0.13	7.18	19.16	12.27	6.73
16	3.68	1.72	11.21	5.54	0.00	0.00	6.02	2.01	11.43	5.29	0.66	5.79	4.26	15.02	17.22	7.25
22	25.14	20.08	29.47	24.90	9.03	6.00	24.61	13.21	30.42	25.16	8.35	21.31	25.52	4.79	32.40	27.56
31	3.46	26.83	47.69	25.99	1.03	20.79	42.64	21.48	47.24	30.65	3.89	27.26	22.63	16.41	49.64	29.56
37	32.98	24.34	26.59	27.97	3.37	20.24	21.01	14.78	29.26	42.26	5.90	25.81	15.81	24.78	39.83	20.15
43	15.40	5.98	26.60	15.99	0.96	2.48	9.59	4.34	21.07	13.33	0.76	11.72	12.99	0.26	16.59	14.87
51	20.57	18.17	27.13	21.95	9.69	16.96	22.07	16.24	26.84	19.20	6.60	17.54	25.92	0.73	30.67	25.25
56	23.89	16.92	13.20	18.01	20.18	18.08	13.04	17.10	17.95	27.64	4.45	16.68	9.07	0.03	21.63	14.44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.10 แสดงปริมาณ Alkalinity ของน้ำในบ่อเลี้ยงปลา

ระยะเวลาที่เลี้ยง (วัน)	ความเข้มข้นของ Alkalinity (mg CaCo3/L)															
	T_1R_1	T_1R_2	T_1R_3	เฉลี่ย	T_2R_1	T_2R_2	T_2R_3	เฉลี่ย	T_3R_1	T_3R_2	T_3R_3	เฉลี่ย	T_4R_1	T_4R_2	T_4R_3	เฉลี่ย
0	115.34	116.67	117.11	116.37	117.11	116.19	117.33	116.88	119.64	115.80	118.60	118.01	116.32	114.40	114.50	115.07
8	263.00	240.00	251.00	251.33	248.00	263.00	233.00	248.00	223.00	233.00	244.00	233.33	211.00	213.00	214.00	212.67
16	193.00	221.00	200.00	204.67	244.00	244.00	211.00	233.00	192.00	204.00	224.00	206.67	210.00	214.00	175.00	199.67
22	139.00	167.00	130.00	145.33	181.00	181.00	137.00	166.33	128.00	141.00	177.00	148.67	133.00	153.00	117.00	134.33
31	247.00	191.00	105.00	181.00	270.00	164.00	119.00	184.33	104.00	168.00	277.00	183.00	154.00	173.00	89.00	138.67
37	127.00	185.00	168.00	160.00	214.00	156.00	168.00	179.33	155.00	126.00	245.00	175.33	180.00	197.00	104.00	160.33
43	148.00	236.00	142.00	175.33	218.00	264.00	288.00	256.67	178.00	236.00	278.00	230.67	182.00	150.00	145.00	159.00
51	217.00	195.80	186.30	199.70	186.10	249.70	241.00	225.90	151.50	202.30	257.40	203.73	205.40	243.20	119.80	189.47
56	230.00	224.30	156.20	203.50	209.50	197.80	251.00	219.43	200.60	185.20	237.30	207.70	175.60	190.00	173.00	179.53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.1 แสดงปริมาณโลหะหนักในเนื้อปลาก่อนเลี้ยง

ชนิดของโลหะหนัก	ปริมาณโลหะหนักก่อนเลี้ยง (ppm)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	SD
Pb	ND	ND	ND	-
Cd	ND	ND	ND	-
Ni	0.078	0.089	0.084	0.008
Fe	0.259	0.208	0.234	0.036
Mn	ND	ND	ND	-
Zn	0.213	0.226	0.220	0.009

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.2 แสดงปริมาณโลหะหนักในเนื้อปลาหลังการเลี้ยง

ตัวอย่าง	ปริมาณโลหะหนักในเนื้อปลาหลังเลี้ยง (ppm)					
	Pb	Cd	Ni	Fe	Mn	Zn
T_1R_1	ND	ND	0.113	0.208	ND	0.121
T_1R_2	ND	ND	0.178	0.197	ND	0.118
T_1R_3	ND	ND	0.154	0.175	ND	0.124
เฉลี่ย	-	-	0.148	0.193	-	0.121
SD	-	-	0.033	0.017	-	0.003
T_2R_1	ND	ND	0.114	0.125	ND	0.114
T_2R_2	ND	ND	0.107	0.124	ND	0.102
T_2R_3	ND	ND	0.119	0.118	ND	0.103
เฉลี่ย	-	-	0.113	0.122	-	0.106
SD	-	-	0.006	0.004	-	0.007
T_3R_1	ND	ND	0.129	0.124	ND	0.103
T_3R_2	ND	ND	0.130	0.114	ND	0.099
T_3R_3	ND	ND	0.127	0.123	ND	0.106
เฉลี่ย	-	-	0.129	0.120	-	0.103
SD	-	-	0.002	0.006	-	0.004
T_4R_1	ND	ND	0.301	0.134	ND	0.104
T_4R_2	ND	ND	0.128	0.129	ND	0.103
T_4R_3	ND	ND	0.129	0.131	ND	0.111
เฉลี่ย	-	-	0.186	0.131	-	0.106
SD	-	-	0.100	0.003	-	0.004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.3 แสดงผลกระทบที่เกิดจากสารพิษปริมาณน้อยหรือ Sublethal (ต่ำกว่า LC_{50})

สารพิษ	ผลกระทบที่เกิดขึ้น	ความเข้มข้นที่ทดสอบ
Cd^{2+}	เพิ่มกลูโคสในเลือด	5-500 ไมโครกรัมต่อลิตร
Cd^{2+}	ลดแคลเซียมในพลาสมา	0.1-10 ไมโครกรัมต่อลิตร
Ni	อัตราฟักไข่เป็นตัวลดลง	0.5-1 มิลลิกรัมต่อลิตร
Pb	ลดอัตราเจริญเติบโต	0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร
Zn^{2+}	ลดอัตราเจริญเติบโต	0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ฉ. 1 แสดงการวิเคราะห์ทางสถิติของน้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้นต่อวัน (DWG)

One Way Analysis of Variance

Analysis of Variance

Source of variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig.level
Between group	.0816333	3	.0272111	.420	.7435
Within group	.5178667	8	.064733		
Total (Corrected)	.5995000	11			

ตารางที่ ฉ. 2 แสดงการวิเคราะห์ทางสถิติของน้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้นต่อวัน(FCR)

One Way Analysis of Variance

Analysis of Variance

Source of variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig.level
Between group	1.365167	3	.4550556	.267	.8472
Within group	13.613600	8	1.7017000		
Total (Corrected)	14.978767	11			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ฉ. 3 แสดงการวิเคราะห์ทางสถิติของอัตราการรอดตายของปลา(Survival Rate)

One Way Analysis of Variance

Analysis of Variance

Source of variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig.level
Between group	133.98777	3	44.662589	2.420	.1413
Within group	147.66880	8	18.458600		
Total (Corrected)	281.65657	11			

ตารางที่ ฉ.4 แสดงการวิเคราะห์ทางสถิติของ Ni ที่ตรวจพบในตัวปลา

One Way Analysis of Variance

Analysis of Variance

Source of variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig.level
Between group	.0470117	4	.0117529	5.898	.0105
Within group	.0199280	8	.0019928		
Total (Corrected)	.0669397	14			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ฉ. 5 แสดงการวิเคราะห์ทางสถิติของ Fe ที่ตรวจพบในตัวปลา

One Way Analysis of Variance

Analysis of Variance

Source of variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig.level
Between group	.0307623	4	.0076906	115.359	.0000
Within group	.0006667	10	.0000667		
Total (Corrected)	.314289	14			

ตารางที่ ฉ. 6 แสดงการวิเคราะห์ทางสถิติของ Zn ที่ตรวจพบในตัวปลา

One Way Analysis of Variance

Analysis of Variance

Source of variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig.level
Between group	.0296407	4	.0074102	437.608	.0000
Within group	.0001693	10	.0000169		
Total (Corrected)	.298100	14			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้