ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม | วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม

สาขา | **ภาควิชา**

เรื่อง ผลของน้ำเสียจากบ่อผึ่งต่อค่าโลหิตวิทยาและค่าเคมีโลหิตในปลานิล *(Oreochomis nilotica)* ในพื้นที่โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี

Effect of Wastewater from Oxidation ponds in Hematology and Blood Chemistry in Nile Tilapia *(Oreochomis nilotica)* at Leam Phak Bia Royally Initiated Environment Research and Development Project in Phetchaburi Province

นามผู้วิจัย นายพีรชัย ใจรักกล้า

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

(รองศาสตราจารย์นิพนธ์ ตังคณานุรักษ์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(รองศาสตราจารย์อาภัสสรา ชูเทศะ, Ph.D.)

ประธานสาขาวิชา .....

(ศาสตราจารย์เกษม จันทร์แก้ว, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... **เดือน** ..... **พ.ศ** .....

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลของน้ำเสียจากบ่อผึ่งต่อค่าโลหิตวิทยาและค่าเคมีโลหิตในปลานิล *(Oreochomis nilotica)* ในพื้นที่โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี

Effect of Wastewater from Oxidation ponds in Hematology and Blood Chemistry in Nile Tilapia *(Oreochomis nilotica)* at Leam Phak Bia Royally Initiated Environment Research and Development Project in Phetchaburi Province

โดย

นายพีรชัย ใจรักกล้า

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)
พ.ศ. 2554

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พีรชัย ใจรักกล้า 2554: ผลของน้ำเสียจากบ่อผึ่งต่อค่าโลหิตวิทยาและค่าเคมีโลหิตในปลานิล *(Oreochomis nilotica)* ในพื้นที่โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม) สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์นิพนธ์ ตังคณานุรักษ์, Ph.D. 101 หน้า

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาคุณภาพน้ำจากบ่อผึ่งต่อค่าโลหิตวิทยาในปลานิลซึ่งได้แก่ จำนวนเม็ดเลือดแดง จำนวนเม็ดเลือดขาว ค่าเม็ดเลือดแดงอัดแน่น และความเข้มข้นของฮีโมโกลบิน และศึกษาค่าเคมีโลหิตประกอบด้วย ปริมาณโซเดียมไอออน ปริมาณคลอไรด์ไอออน และปริมาณแคลเซียมไอออนในเลือด ในการทดลองแบ่งปลานิลเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 10 ตัว ในบ่อผึ่งต่อแบบอนุกรม ทำการศึกษา 3 ฤดู คือฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาว ทำการเก็บตัวอย่างน้ำ และตัวอย่างเลือดปลานิลทุกๆ 4 เดือนใน 1 ปี จากการศึกษาพบว่าบ่อผึ่งมีปริมาณสารอินทรีย์สูง ซึ่งส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าโลหิตวิทยาและความเป็นอยู่ของปลานิล นอกจากนี้แอมโมเนียที่พบในบ่อผึ่งเกิดจากการย่อยสลายทางชีวภาพของอินทรีย์ในโตรเจน ซากของสิ่งมีชีวิตที่ตาย ปุ๋ย อาหาร และการขับถ่ายของเสียจากสิ่งมีชีวิตโดยความเข้มข้นแอมโมเนียที่สูงเกินกว่า 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่งผลต่อความเครียดของปลานิล ซึ่งจะแสดงออกมาในค่าโลหิตวิทยาที่ประกอบด้วยความเข้มข้นของฮีโมโกลบินและค่าเม็ดเลือดแดงอัดแน่นที่สูงขึ้น อย่างไรก็ตามในฤดูฝนคุณภาพน้ำจากบ่อผึ่งไม่เหมาะสมต่อการเลี้ยงของปลานิลน้อยที่สุด เนื่องจากระยะเวลาที่น้ำพักอยู่ในระบบบ่อผึ่งในแต่ละบ่อมีระยะเวลาที่สั้น จากการศึกษาค่าโลหิตวิทยาของปลานิลในแต่ละฤดูกาล พบว่าบ่อผึ่งที่ 3 มีความเหมาะสมที่สุดต่อการเลี้ยงปลานิล

_____ _____ ___ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Pheerachai Jairakkla 2011: Effect of Wastewater from Oxidation ponds in Hematology and Blood Chemistry in Nile Tilapia *(Oreochomis nilotica)* at Leam Phak Bia Royally Initiated Environment Research and Development Project in Phetchaburi Province. Master of Science (Environmental Science), Major Field: Environmental Science, College of Environment. Thesis Advisor: Associate Professor Nipon Tungkananuruk, Ph.D. 101 pages.

This research paper was to study the quality of wastewater treatment in oxidation ponds which affected the hematological values of nile fish such as the red blood cell count, the white blood cell count, the packed cell volume (hematocrit), the concentration of hemoglobin and the chemical blood values of sodium ion, choride ion, calcium ion. The experimental fish was divided into 4 groups, with 10 fish in each group in serial oxidation ponds and the experiment was investigated in summer, winter and rainy seasons. Water and blood samples were collected for every 4 months in one year. It was found that the high organics content in oxidation pond affecting the quality of the fish living and the hematological values of the fish. In addition, the ammonia in oxidation pond was from the biodegradation of the nitrogen organic substance, waste product excretion, fossil, fertilizer and feedstuff waste. Which the concentration was higher than 0.5 mg/L. It would cause the fish stress, showing in higher concentration of the hemoglobin and the red blood cell count. However, in the rainy season was less suitable for the fish because of the short time of wastewater treatment in each oxidation pond. The third wastewater treatment pond was the most suitable pond for the fish according to the hematological values of the fish in each season.

_____ _____ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. นิพนธ์ ตังคณานุรักษ์ ประธานกรรมการที่ปรึกษา และรองศาสตราจารย์ ดร. อาภัสสรา ชูเทศะ กรรมการร่วม ที่สละเวลาในการให้ความรู้ คำแนะนำ แก้ไขปัญหาและข้อบกพร่องต่างๆ ตลอดจนตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณ วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่อนุเคราะห์สถานที่และอุปกรณ์ในการทำการศึกษาวิจัยทดลอง ขอขอบคุณ คุณวัชรพงษ์ วาระรัมย์และเจ้าหน้าที่วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม รวมถึงเจ้าหน้าที่โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริที่ให้คำแนะนำและอำนวยความสะดวกในด้านต่างๆ ขอขอบคุณ โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริที่ได้สนับสนุนทุนในการวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อธงชัยและคุณแม่กาญจนา ใจรักกล้า ที่ให้กำลังใจและสนับสนุนทุกเรื่องเสมอมา ขอขอบพระคุณ นางศรีสมัย วิริยารัมภะและนางสาวนิรชรา โรจนแพทย์ ที่ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำที่ดี ขอขอบคุณ นิสิตสัตวแพทยศาสตร์ รุ่น 66 และนิสิตวิทยาลัยสิ่งแวดล้อม รุ่น 32 ที่ให้ความช่วยเหลือทั้งกำลังกายและกำลังใจจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

พีรชัย ใจรักกล้า

มกราคม 2554

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(6)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	4
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	44
ผลและวิจารณ์	52
สรุปและข้อเสนอแนะ	81
สรุป	81
ข้อเสนอแนะ	83
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	84
ภาคผนวก	96
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	101

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ลักษณะพื้นที่ ความลึกและปริมาตรความจุของบ่อผึ่ง	12
2	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับค่าความเป็นกรด-เบสของแอมโมเนียอิสระในหน่วยมิลลิกรัมต่อลิตร	24
3	ปริมาณ และมูลค่าของผลผลิตของปลานิลตั้งแต่ปี พ.ศ. 2540 ถึง พ.ศ. 2544	29
4	ปริมาณแคดเมียมและตะกั่วในน้ำเสียเฉลี่ยตลอดปี เทศบาลเมืองเพชรบุรี	37
5	มาตรฐานของโลหะหนักที่ทำการศึกษา	37
6	มาตรฐานโลหะหนักในอาหารที่กำหนดโดยองค์กรต่างๆ	38
7	การใช้ประโยชน์ที่ดินในเขตเทศบาลเมืองเพชรบุรี ปี พ.ศ.2539	42
8	ปริมาณแอมโมเนียที่ตรวจวัดได้ของแต่ละฤดูกาล	52
9	ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำที่ตรวจวัดได้ของแต่ละฤดูกาล	54
10	ค่าความเป็นกรด-เบสในน้ำของแต่ละฤดูกาล	55
11	ปริมาณไนเตรทไอออนในน้ำของแต่ละฤดูกาล	57
12	อุณหภูมิในน้ำที่ตรวจวัดได้ของแต่ละฤดูกาล	58
13	ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (BOD) ในแต่ละฤดูกาล	60
14	ปริมาณแคดเมียมที่ตรวจพบในดิน น้ำและเนื้อปลานิลในฤดูร้อน	61
15	ปริมาณแคดเมียมที่ตรวจพบในดิน น้ำและเนื้อปลานิลในฤดูหนาว	62
16	ปริมาณแคดเมียมที่ตรวจพบในดิน น้ำและเนื้อปลานิลในฤดูฝน	63
17	ปริมาณตะกั่วที่ตรวจพบในดิน น้ำและเนื้อปลานิลในฤดูร้อน	66
18	ปริมาณตะกั่วที่ตรวจพบในดิน น้ำและเนื้อปลานิลในฤดูหนาว	67
19	ปริมาณตะกั่วที่ตรวจพบในดิน น้ำและเนื้อปลานิลในฤดูฝน	68
20	จำนวนเม็ดเลือดแดงของปลานิลที่ตรวจพบของแต่ละฤดูกาล	71
21	จำนวนเม็ดเลือดขาวของปลานิลในแต่ละฤดูกาล	73
22	ค่าเม็ดเลือดแดงอัดแน่นในแต่ละฤดูกาล	74
23	ความเข้มข้นของฮีโมโกลบินในแต่ละฤดูกาล	76
24	ปริมาณโซเดียมไอออนในแต่ละฤดูกาล	78
25	ปริมาณคลอไรด์ไอออนในแต่ละฤดูกาล	79
26	ปริมาณแคลเซียมไอออนในแต่ละฤดูกาล	79

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
1	กราฟมาตรฐานของฮีโมโกลบินที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร	100

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	การเกิดปฏิกิริยาชีวเคมีในบ่อไร้อากาศ	9
2	ภาพแสดงพื้นที่บ่อผึ่งโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ	13
3	ปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์และความสัมพันธ์แบบพึ่งพาอาศัยกันระหว่างแบคทีเรียและสาหร่าย	13
4	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการเลี้ยงกับปริมาณแอมโมเนีย	20
5	วงจรของแอมโมเนียและไนโตรเจน	22
6	ความสัมพันธ์ระหว่างแอมโมเนียอิสระกับค่าความเป็นกรด-เบสในอุณหภูมิต่างๆ	23
7	ลักษณะภายนอกของปลานิล (*Oreochromis niloticus* Linn.)	27
8	การจับคู่ของแคดเมียมตรงบริเวณบริเวณเร่งของเอนไซม์	32
9	กลไกการเกิดพิษของตะกั่วต่อขบวนการสร้าง heme ในร่างกาย	35
10	การจับคู่ของตะกั่วตรงบริเวณ active site ของเอนไซม์	36
11	จุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียและดินในบ่อรวบรวมน้ำเสียและระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อผึ่งในโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยฯ	46
12	วิธีการเก็บเลือดจาก Caudal vein ของปลานิล	48
13	เอ็คแมน แกร็บ (EKMAN GRAB)	50
14	ความสัมพันธ์ของแอมโมเนียในน้ำของแต่ละฤดูกาล	53
15	ความสัมพันธ์ของออกซิเจนละลายน้ำของฤดูกาลต่างๆ	55
16	ความสัมพันธ์ของค่าความเป็นกรด-เบสในน้ำของแต่ละฤดูกาล	56
17	ความสัมพันธ์ของปริมาณไนเตรทไอออนในน้ำของแต่ละฤดูกาล	58
18	อุณหภูมิของน้ำในแต่ละฤดูกาล	59
19	ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (BOD) ในแต่ละฤดูกาล	60
20	ปริมาณแคดเมียมระหว่างในดิน น้ำ และปลานิลในฤดูร้อน	62
21	ปริมาณแคดเมียมระหว่างในดิน น้ำ และปลานิลในฤดูหนาว	63
22	ปริมาณแคดเมียมระหว่างในดิน น้ำ และปลานิลในฤดูฝน	64
23	ปริมาณแคดเมียมที่สะสมในดินของฤดูกาลต่างๆ	64

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
24	ปริมาณแคดเมียมที่สะสมในน้ำของแต่ละฤดูกาล	65
25	ปริมาณแคดเมียมที่สะสมในปลานิลของแต่ละฤดูกาลต่างๆ	65
26	ปริมาณตะกั่วที่ตรวจพบระหว่างในดิน น้ำ และปลานิลในฤดูร้อน	67
27	ปริมาณตะกั่วที่ตรวจพบระหว่างในดิน น้ำ และปลานิลในฤดูหนาว	68
28	ปริมาณตะกั่วที่ตรวจพบระหว่างในดิน น้ำ และปลานิลในฤดูฝน	69
29	ปริมาณตะกั่วที่สะสมในดินของแต่ละฤดูกาล	69
30	ปริมาณตะกั่วที่สะสมในน้ำของแต่ละฤดูกาล	70
31	ปริมาณตะกั่วที่สะสมในปลานิลของแต่ละฤดูกาล	70
32	ค่าเฉลี่ยจำนวนเม็ดเลือดแดง (ล้านเซลล์ต่อไมโครลิตร) ของปลานิลเปรียบเทียบแต่ละกลุ่มภายในฤดูกาลเดียวกัน	72
33	ค่าเฉลี่ยจำนวนเม็ดเลือดขาว (เซลล์ต่อไมโครลิตร) ของปลานิลเปรียบเทียบแต่ละบ่อทดลองในฤดูกาลเดียวกัน	73
34	ค่าเฉลี่ยเม็ดเลือดแดงอัดแน่น (ร้อยละ) ของปลานิลเปรียบเทียบแต่ละกลุ่มภายในฤดูกาลเดียวกัน	75
35	ค่าความเข้มข้นของฮีโมโกลบิน ของปลานิลเปรียบเทียบแต่ละกลุ่มภายในฤดูกาลเดียวกัน	76

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

บีโอดี (BOD)	=	Biochemical Oxygen Demand (ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี)
พีเอช	=	pH value (ค่าความเป็นกรด-เบส)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลของน้ำเสียจากบ่อผึ่งต่อค่าโลหิตวิทยาและค่าเคมีโลหิต ในปลานิล *(Oreochomis nilotica)* ในพื้นที่โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อม แหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี

Effect of Wastewater from Oxidation ponds in Hematology and Blood Chemistry in Nile Tilapia *(Oreochomis nilotica)* at Leam Phak Bia Royally Initiated Environment Research and Development Project in Phetchaburi Province

คำนำ

ปัจจุบันปัญหาสิ่งแวดล้อมเป็นปัญหาที่ทุกประเทศให้ความสำคัญและมีความตระหนักเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากเป็นปัญหาที่ใกล้ตัวและส่งผลกระทบโดยตรงต่อมนุษย์ ทั้งต่อชีวิตความเป็นอยู่และคุณภาพชีวิต โดยเฉพาะปัญหาน้ำเสียนั้นจะมีปัญหารุนแรงเพิ่มมากขึ้น จากรายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย (กรมควบคุมมลพิษ, 2549) ปัญหาน้ำเสียนับเป็นปัญหาที่เกิดมาพร้อมกับการเกิดชุมชน ยิ่งชุมชนมีขนาดที่ใหญ่ขึ้นปัญหาน้ำเสียย่อมมีมากขึ้นตามมาด้วย หากไม่มีการบำบัดก่อนปล่อยสู่ธรรมชาติ จะทำให้แหล่งน้ำธรรมชาติเสื่อมโทรมลง จึงควรมีการบำบัดน้ำเสียก่อนปล่อยสู่แหล่งธรรมชาติ ซึ่งวิธีการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบ่อผึ่ง (oxidation pond) เป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียโดยอาศัยระบบธรรมชาติช่วยธรรมชาติ

จากสถิติคุณภาพน้ำในแม่น้ำสายต่างๆทั่วประเทศไทยพบว่ามีคุณภาพน้ำในเกณฑ์ดีมีเพียงร้อยละ 19 เกณฑ์พอใช้ร้อยละ 53 และเกณฑ์เสื่อมโทรมร้อยละ 28 และมีการปนเปื้อนของสารพิษและเชื้อโรคในแหล่งน้ำ ส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนประมาณร้อยละ 32 ของจำนวนเหตุปัญหาที่เกิดขึ้น (โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ,2549) ดังนั้นทางรัฐบาลจึงต้องมีมาตรการที่จะบ่งชี้ความเป็นพิษในน้ำและหาวิธีการที่จะบ่งชี้ว่าน้ำที่ได้จากการบำบัดมีประสิทธิภาพต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำได้อย่างยั่งยืน

โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ ตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี เป็นโครงการที่เกิดจากพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวฯที่ทรงเห็นความสำคัญของปัญหาสิ่งแวดล้อมด้านน้ำเสีย และทรงหา

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิธีการแก้ไขที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพ ทั้งหารูปแบบเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียโดยเน้นไปที่เทคโนโลยีพื้นฐานที่ไม่ยุ่งยาก สามารถทำได้ง่ายจากวัสดุท้องถิ่นและสามารถปรับประยุกต์ใช้กับพื้นที่อื่นๆได้ จากการดำเนินการวิจัยเพื่อศึกษารูปแบบเทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียมีรูปแบบประกอบด้วย ระบบบ่อผึ่งน้ำเสียแบบบ่อผึ่ง ระบบหญ้ากรองน้ำเสีย ระบบป่าชายเลนบำบัดน้ำเสียและระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมบำบัดน้ำเสีย (โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ, 2549) ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อผึ่งมีการเลี้ยงปลานิลเพื่อลดปริมาณแพลงค์ตอนที่มีมากเกินความต้องการจากระบบบ่อผึ่ง

ปลานิล (Nile Tilapia, *Oreochomis niloticus*) จัดอยู่ใน Family Cichlidae สามารถพบแพร่กระจายทั่วไปบริเวณอเมริกาเขตร้อน แอฟริกา อินเดีย และทางใต้ของเอเชีย ปลานิลแบ่งได้เป็น 3 สายพันธุ์หลักคือ *O. mossambicus, O. niloticus* และ *O. aureus* จัดเป็นปลาน้ำจืดที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจและการเพาะเลี้ยงตั้งแต่ปี พ.ศ. 2508 ปัจจุบัน สายพันธุ์ที่เป็นที่ต้องการของเกษตรกรในประเทศไทยคือพันธุ์จิตรดา 3 เนื่องจากมีลำตัวหนาขึ้น และมีหัวเล็กทำให้ได้ปริมาณเนื้อที่มากเมื่อเทียบกับพันธุ์อื่น นอกจากนี้เนื้อปลาที่ได้ยังมีคุณภาพ และรสชาดดี ในด้านการเลี้ยงพบว่าปลานิลพันธุ์นี้เลี้ยงง่าย ทนต่อสภาวะแวดล้อม โตเร็ว ทนต่อน้ำความเค็มสูง ทนการเลี้ยงในอุณหภูมิที่ต่ำมีความต้านทานโรคได้ดี

การศึกษาในครั้งนี้จึงเป็นการศึกษาเกี่ยวกับ ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพน้ำกับสุขภาพของปลานิลที่อาศัยอยู่ในบ่อผึ่งน้ำเสียระบบบ่อผึ่งในโครงการแหลมผักเบี้ย ส่วนประกอบของสารอินทรีย์หลายชนิดที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีพของพืชและสัตว์ สารประกอบไนโตรเจนในอาหารเมื่อผ่านกระบวนการเมแทบอลิซึมแล้ว บางส่วนจะถูกถ่ายเทออกมาละลายอยู่ในน้ำรวมทั้งสิ่งขับถ่ายของสัตว์น้ำ ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงไปเป็นสารอนินทรีย์ เช่น แอมโมเนีย (NH_3) ไนไตรท์ (Nitrite) ที่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำถ้ามีปริมาณมาก และไนเตรท (Nitrate) จะเป็นแหล่งของไนโตรเจนที่พืชใช้สร้างอาหาร ถ้าในแหล่งน้ำมีไนเตรทมากมีผลทำให้พืชน้ำเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็ว และเป็นสาเหตุให้สัตว์น้ำได้รับผลกระทบจากการลดปริมาณของออกซิเจนในเวลากลางคืนด้วย สำหรับค่าเคมีในเลือดปลาสามารถบ่งบอกความผิดปกติทางสรีรวิทยา (Hé lé ne and Gé rard, 1996) และความผิดปกติทางพยาธิวิทยา เนื่องจากเมื่อปลานิลได้รับความเครียด หรืออยู่ในสิ่งแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมจะทำให้เกิดการกระตุ้นให้มีการเพิ่มของคอร์ติซอล (cortisol) และแคทีโคลามีน (catecholamine)ในกระแสเลือด ให้มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของอัตราเมแทบอลิซึมของเซลล์ และค่าเคมีในเลือดชนิดต่างๆ (Mazeaud *et al*., 1977) ดังนั้นค่าเคมีในเลือดจึงสามารถนำมาใช้ในการประเมินสุขภาพปลา (Biaxhall and Daisley, 1973) และความผิดปกติที่เกิดขึ้นได้ ปัจจุบันค่าเคมีใน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เลือดของปลาในประเทศไทยยังมีการศึกษาอยู่เป็นจำนวนน้อย ยิ่งไปกว่านั้นค่าเคมีในเลือดของปลาต่างประเทศที่มีรายงานส่วนใหญ่จะแตกต่างจากปลาที่มีในประเทศไทย ปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลทำให้ค่าเคมีในเลือดเปลี่ยนแปลง ได้แก่ พันธุ์ อายุ (Harikrishnan *et al*., 2003) เพศ ความสมบูรณ์ (Ezzat *et al*., 1974) อุณหภูมิ ความเค็ม (Rao, 1969) การจับบังคับ (Ellsaesser and Clem, 1986) การวางยา วิธีการตรวจ ผู้ตรวจ (Hardig and Hoglund, 1983) วิธีการเก็บรักษาตัวอย่าง (Korcock *et al*., 1988) การมีพยาธิภายนอก (Kaneko, 1983) ได้รับสารพิษ (Luskova *et al*., 2002) และการที่ปลามีอาการป่วย (Waagbo et al., 1988) ทำให้การนำผลค่าเคมีในเลือดมาเปรียบเทียบเพื่อการวินิจฉัยและการรักษาทำได้อย่างลำบากและมักไม่ประสบผลสำเร็จ ดังนั้นการมีค่าเคมีในเลือดมาตรฐาน สำหรับการอ้างอิงในปลานิลของประเทศไทย จึงมีประโยชน์ในการช่วยวินิจฉัย พยากรณ์โรค และการเลือกแผนการรักษาได้อย่างทันท่วงทีและการศึกษานี้เป็นการบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของระบบได้อีกทางหนึ่ง อันจะเป็นแนวทางในการพิจารณานำน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วมาใช้ประโยชน์เพื่อการเลี้ยงปลาที่เหมาะสมต่อไปในอนาคต

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาคุณภาพน้ำที่ผ่านกระบวนการบำบัดด้วยระบบบ่อผึ่งน้ำเสียแบบบ่อผึ่ง มีความปลอดภัยเพียงพอสามารถปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยไม่เป็นอันตรายต่อการอาศัยอยู่ของสัตว์น้ำ

2. เพื่อศึกษาค่าโลหิตวิทยาและค่าเคมีโลหิตของปลานิลที่เลี้ยงในน้ำที่ผ่านกระบวนการบำบัดด้วยระบบบ่อผึ่งบำบัดน้ำเสีย

3. เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาเป็นแนวทางในการใช้ประโยชน์น้ำเสียชุมชนที่ผ่านการบำบัดมาทำการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

ขอบเขตงานวิจัย

1. ศึกษาคุณภาพน้ำที่ใช้เลี้ยงปลานิลในฤดูกาลต่างๆที่ได้จากน้ำเสียที่เกิดจากน้ำทิ้งในชุมชนเมืองเพชรบุรีที่ผ่านกระบวนการบำบัดด้วยระบบบ่อผึ่งบำบัดน้ำเสียในพื้นที่โครงการแหลมผักเบี้ย โดยใช้ตัวดัชนีบ่งชี้ ได้แก่ พีเอช อุณหภูมิ ค่าบีโอดี ไนเตรทไอออนและแอมโมเนีย

2. พื้นที่โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี เป็นสถานที่ทำการทดลองทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ณ ห้องปฏิบัติการเคมี วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ศึกษาค่าโลหิตวิทยาและค่าเคมีโลหิตในปลานิล ณ ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาสรีรวิทยา คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การตรวจเอกสาร

น้ำเสียชุมชน

1. ความหมายของน้ำเสียชุมชน

กรมควบคุมมลพิษ (2549) ให้ความหมายน้ำเสียว่าเป็นน้ำที่มีสิ่งเจือปนต่างๆ มากจนกระทั่งกลายเป็นน้ำที่ไม่เป็นที่ต้องการและน่ารังเกียจของคนทั่วไป ไม่เหมาะสมสำหรับใช้ประโยชน์อีกต่อไป หรือถ้าปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติจะทำให้คุณภาพของน้ำธรรมชาติเสียหาย

2. ลักษณะน้ำเสียชุมชน

กรมควบคุมมลพิษ (2546) และปราณี (2537) ได้แบ่งองค์ประกอบน้ำเสียชุมชนต่างๆ ดังนี้

2.1 สารอินทรีย์ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน เช่น เศษข้าว ก๋วยเตี๋ยว น้ำแกง พืชผัก และชิ้นเนื้อ เป็นต้น ซึ่งสามารถถูกย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจน ทำให้ระดับออกซิเจนละลายน้ำลดลง เกิดสภาพน้ำเน่าเหม็นได้ ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำนิยมวัดด้วยค่าบีโอดี หากค่าบีโอดีในน้ำสูง แสดงว่ามีสารอินทรีย์ปะปนอยู่มาก สภาพเน่าเหม็นจะเกิดขึ้นได้ง่าย

2.2 สารอนินทรีย์ ได้แก่ แร่ธาตุต่าง ๆ ที่ไม่ทำให้เกิดน้ำเน่าเหม็น แต่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตหรือเป็นอุปสรรคในกระบวนการผลิตน้ำประปา สารเหล่านี้ ได้แก่ คลอไรด์ไอออน ไนเตรทไอออน ฟอสเฟตและซัลเฟตไอออน เป็นต้น

2.3 น้ำมันและสารลอยบนผิวน้ำต่างๆ เป็นอุปสรรคต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงและกีดขวางการละลายของออกซิเจนจากอากาศลงสู่น้ำ และยังทำให้เกิดสภาพไม่น่าดู

2.4 อุณหภูมิ อุณหภูมิของน้ำเสียมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ ขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดน้ำเสีย โดยอาจทำให้เกิดการแบ่งชั้นของน้ำ (stratification) เร่งปฏิกิริยาการใช้ออกซิเจนของจุลินทรีย์และลดระดับการละลายของออกซิเจนในน้ำ ซึ่งอาจทำให้เกิดสภาพเน่าเหม็นขึ้นได้ อุณหภูมิของน้ำที่เหมาะสมควรอยู่ระหว่าง 25-35 องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.5 โลหะหนักและสารพิษ อาจอยู่ในรูปของสารอินทรีย์หรืออนินทรีย์ สามารถสะสมอยู่ในห่วงโซ่อาหารในระบบนิเวศ เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต เช่น ปรอท โครเมียม และทองแดงเป็นต้น น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมและสารเคมีที่ใช้ในการเกษตร สำหรับน้ำเสียในเขตชุมชนอาจมีสารพิษปนเปื้อนมาจากอุตสาหกรรมในครัวเรือนบางประเภท เช่น ร้านซุบโลหะ อู่ซ่อมรถ และน้ำเสียจากโรงพยาบาล เป็นต้น

2.6 ของแข็ง ประกอบด้วยสารแขวนลอย และของแข็งที่สามารถละลายน้ำเมื่อจมตัวลงสู่ก้นลำน้ำ ทำให้เกิดสภาพไร้ออกซิเจนที่ท้องน้ำ แหล่งน้ำตื้นเขิน มีความขุ่นสูงส่งผลกระทบต่อการดำรงชีพของสัตว์น้ำ และนำน้ำมาใช้ประโยชน์ได้ลดลง

2.7 สีและความขุ่น มักเกิดจากอุตสาหกรรมประเภทสิ่งทอ กระดาษ ฟอกหนังและโรงฆ่าสัตว์ สีและความขุ่นจะขัดขวางกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงในลำน้ำ

2.8 ความเป็นกรด-เบส (พีเอช) มีผลต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในน้ำและสามารถนำน้ำมาใช้ประโยชน์ได้ดี ค่า pH ของน้ำทิ้งที่เหมาะสมควรอยู่ระหว่าง 5.00 – 9.00

2.9 สารก่อให้เกิดฟองหรือสารซักฟอก ได้แก่ ผงซักฟอก และสบู่ โดยฟองจะกีดกันการกระจายของออกซิเจนในอากาศสู่น้ำ อาจเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำได้

2.10 จุลินทรีย์ จะใช้ออกซิเจนในการดำรงชีวิต สามารถทำให้ระดับของออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ลดลง ก่อให้เกิดสภาพเน่าเหม็น นอกจากนี้จุลินทรีย์บางชนิดยังอาจเป็นเชื้อโรคที่เป็นอันตรายต่อประชาชน เช่น จุลินทรีย์ในน้ำจากโรงพยาบาล

2.11 ธาตุอาหาร ได้แก่ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส เมื่อมีปริมาณสูงจะทำให้เกิดการเจริญเติบโตและเพิ่มปริมาณอย่างรวดเร็วของสาหร่าย (algal bloom) อันเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ระดับออกซิเจนในน้ำลดลงต่ำมากในช่วงกลางคืน และยังทำให้เกิดวัชพืชน้ำซึ่งเป็นปัญหาแก่การสัญจรทางน้ำ

2.12 กลิ่นเกิดจากแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจน หรือกลิ่นอื่นๆ จากโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น โรงงานฆ่าสัตว์ เป็นต้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กระบวนการเกิดน้ำเสีย เริ่มจากการปนเปื้อนของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์หรือการทิ้งของเสียประเภทสารอินทรีย์ลงสู่แหล่งน้ำ จัดเป็นอาหารของจุลินทรีย์โดยผ่านกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์ ที่มีปฏิกิริยาชีวเคมี 2 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนแรกเป็นกระกระบวนการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจน (aerobic process) ดังสมการที่ (1)

$$\text{สารอินทรีย์ (CHONS)} + \text{จุลินทรีย์} \xrightarrow{\text{ออกซิเจน}} \text{จุลินทรีย์ขยายพันธุ์} + CO_2 + H_2O + SO_4^{2-} + NO_3^- \quad (1)$$

จากปฏิกิริยาชีวเคมีของกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่เกิดขึ้นจะได้สารอินทรีย์มีขนาดเล็กลง จำนวนจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น และได้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) น้ำ (H_2O) และธาตุอาหารพืช เช่น ไนเตรทและซัลเฟต รวมทั้งได้พลังงานเพิ่มขึ้น กระบวนการที่จุลินทรีย์ใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์นั้น จะทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ลดน้อยลง และถ้าสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายง่ายยังคงมีอยู่สูง ปริมาณออกซิเจนจะลดลงจนหมดไปอย่างรวดเร็ว ทำให้สิ่งมีชีวิตที่ต้องการออกซิเจนตายหรือมีปริมาณลดน้อยลงและทำให้เกิดกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนตามมา

ขั้นตอนที่สองกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic process) ดังสมการที่ (2)

$$\text{สารอินทรีย์ (CHONS)} + \text{แบคทีเรียไม่ใช้ออกซิเจน} \xrightarrow{SO_4^{2-},\ NO_3^-} CO_2 + NH_3 + H_2S + CH_4 \quad (2)$$

จากปฏิกิริยาชีวเคมีของกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่เกิดขึ้นจะ ได้กรดอินทรีย์ แอลกอฮอล์ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ แอมโมเนีย และแก๊สมีเทน โดยผลผลิตที่ได้จากกระบวนการไม่ใช้ออกซิเจนนี้ทำให้เกิดสีและกลิ่นที่น่ารังเกียจ ไม่สามารถใช้อุปโภคและบริโภคได้ เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตทั้งในน้ำและบริเวณใกล้เคียง ทำให้เสียความสมดุลทางธรรมชาติ เกิดผลกระทบต่อระบบนิเวศและสิ่งแวดล้อม เป็นอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน เนื่องจากเป็นแหล่งเพาะพันธุ์ของเชื้อโรคและเป็นพาหะนำโรคต่างๆ ทำลายทัศนียภาพ โดยเฉพาะในแหล่งน้ำที่ใช้เพื่อการคมนาคมและเพื่อการท่องเที่ยวและเป็นปัญหาต่อกระบวนการผลิตน้ำประปา ทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงคุณภาพน้ำเพิ่มมากขึ้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ระบบบ่อผึ่งน้ำเสีย

น้ำเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีการหมุนเวียนเป็นวัฏจักรและมีกระบวนการฟื้นคืนให้สะอาดโดยตัวมันเอง (Self-purification) แต่กระบวนการดังกล่าวมีขีดความสามารถในการรองรับ (Carrying capacity) แตกต่างกันไปในแต่ละแหล่งน้ำ ดังนั้นการบำบัดน้ำเสียจึงเป็นกลไกสำคัญอย่างหนึ่งที่จะช่วยลดภาระของแหล่งน้ำในการฟื้นคืนตัวเองตามธรรมชาติ และช่วยป้องกันไม่ให้สารมลพิษปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติ

ระบบบ่อผึ่งน้ำเสีย (Lagoon treatment) หรือระบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization pond)หรือระบบบ่อผึ่ง เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่อาศัยธรรมชาติในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย กล่าวคือเป็นการอาศัยจุลินทรีย์ ย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆ ในน้ำเสียโดยกระบวนการใช้ออกซิเจนเป็นหลัก แสงแดดและสาหร่ายเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเพิ่มปริมาณของออกซิเจนในบ่อ เพื่อให้จุลินทรีย์ทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ ความลึกของบ่อจึงต้องอยู่ในระดับที่แสงแดดสามารถส่องได้อย่างทั่วถึง มีความลึกไม่เกิน 1.5 เมตร ส่วนปัจจัยอื่นๆ ที่สำคัญและมีผลต่อประสิทธิภาพของระบบได้แก่ ปริมาณสาหร่าย ความเข้มข้นของน้ำเสีย และระยะเวลาในการกักเก็บน้ำเสียเพื่อการย่อยสลายของจุลินทรีย์

1. ประเภทการทำงานของบ่อผึ่งน้ำเสีย

กรมควบคุมมลพิษ (2549) แบ่งระบบบ่อผึ่งน้ำเสียตามลักษณะการทำงานได้เป็น 3รูปแบบดังนี้

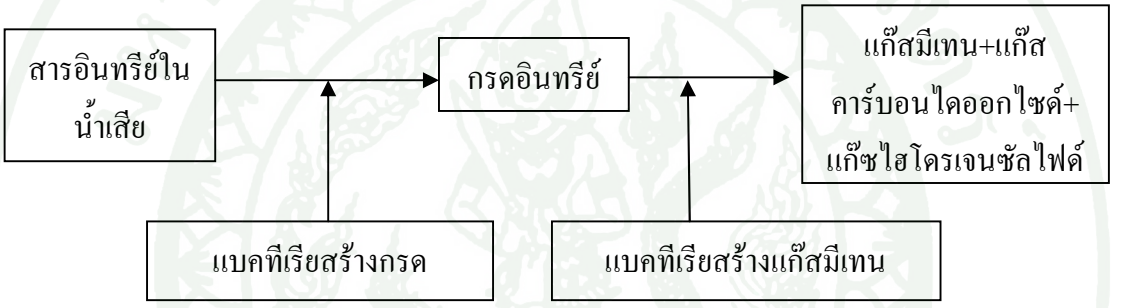
1.1 บ่อไร้อากาศ (Anaerobic pond) เป็นระบบที่ใช้กำจัดสารอินทรีย์ที่มีความเข้มข้นสูงโดยไม่ต้องการออกซิเจน บ่อนี้จะถูกออกแบบให้มีความลึกของบ่อมากกว่าบ่ออื่นคือ ความลึกประมาณ 3.00 – 4.00 เมตรเพื่อรองรับสารอินทรีย์ที่มีความเข้มข้นสูงมาก ซึ่งสาหร่ายและการละลายออกซิเจนที่ผิวหน้าไม่สามารถผลิตและป้อนออกซิเจนได้ทัน ทำให้เกิดสภาพไร้ออกซิเจนภายในบ่อ เหมาะกับน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์และปริมาณของแข็งสูง เนื่องจากของแข็งจะตกลงสู่ก้นบ่อและถูกย่อยสลายแบบไร้อากาศ น้ำเสียส่วนที่ผ่านการบำบัดจากบ่อนี้จะระบายต่อไปยังบ่อกึ่งไร้อากาศ (Facultative pond) เพื่อบำบัดต่อไป ทั้งนี้การทำงานของบ่อแบบนี้จะขึ้นอยู่กับสมดุลระหว่างแบคทีเรียที่ทำให้เกิดกรดและแบคทีเรียที่ทำให้เกิดแก๊สมีเทน ดังนั้นอุณหภูมิของบ่อควรมากกว่า 15 องศาเซลเซียส และค่าพีเอชมากกว่า 6

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

หลักการทำงานของบ่อไร้อากาศ แบ่งการทำงานออกเป็น 2 ขั้นตอนด้วยกันมีรายละเอียดดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 แบคทีเรียสร้างกรด (acid forming bacteria) จะทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียให้กลายเป็นกรดอินทรีย์ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นกรดแอซิติก และกรดโพรพิโอนิค

ขั้นตอนที่ 2 แบคทีเรียสร้างแก๊สมีเทน (methane forming bacteria) จะย่อยสลายกรดอินทรีย์ ได้แก๊สมีเทน และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ปฏิกิริยาชีวเคมีที่ทำให้เกิดกรดอินทรีย์นี้จะส่งผลให้เกิดกลิ่นรุนแรง และกลิ่นเหม็นจากแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์



ภาพที่ 1 การเกิดปฏิกิริยาชีวเคมีในบ่อไร้อากาศ

ที่มา: Chalas *et al.* (1991)

โดยปกติบริเวณผิวน้ำของบ่อไร้อากาศจะเกิดตะกอนลอย (scum) เป็นฝ้าปกคลุมอยู่บนผิวน้ำ อีกทั้งน้ำในบ่อไร้อากาศมีการผุดของฟองน้ำเกิดจากการแทรกตัวของแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ลอยขึ้นด้านบน แสดงให้เห็นถึงสภาวะการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน บ่อไร้อากาศไม่นิยมใช้ 2 บ่อวางอนุกรมกัน เพราะปริมาณไบโอฟิล์มที่เกิดขึ้นจะไม่มากพอที่ปกคลุมในบ่อผึ่งบ่อที่สองได้อย่างทั่วผิวบ่อ อัตราภาระสารอินทรีย์ที่เหมาะสมประมาณ 256.94 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยมีระยะเวลาในการเก็บกักน้ำเสียไว้ในบ่อประมาณไม่น้อยกว่า 4 วัน ที่อุณหภูมิ 41.67 องศาเซลเซียส มีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ได้ถึงร้อยละ 75.00 (พัฒนา, 2541)

1.2 บ่อกึ่งไร้อากาศ (Facultative pond) เป็นบ่อที่นิยมใช้กันมากที่สุด ภายในบ่อมีลักษณะการทำงานแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนบนของบ่อเป็นแบบมีอากาศ ได้รับออกซิเจนจากการถ่ายเท

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อากาศที่บริเวณผิวน้ำและจากการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่าย และส่วนล่างของบ่ออยู่ในสภาพไร้อากาศ บ่อกึ่งไร้อากาศนี้โดยปกติแล้วจะรับน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นแบบบ่อใช้อากาศมาก่อน โดยสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำจะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ประเภทที่ใช้ออกซิเจน เพื่อเป็นอาหารสำหรับการสร้างเซลล์ใหม่และเป็นพลังงาน โดยใช้ออกซิเจนจากการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายที่อยู่ในบ่อส่วนบน สำหรับบ่อส่วนล่างจนถึงก้นบ่อซึ่งแสงแดดส่องไม่ถึงจะมีปริมาณออกซิเจนละลายต่ำ จนเกิดสภาวะไร้ออกซิเจน จะมีจุลินทรีย์ประเภทไม่ใช้ออกซิเจน ทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์และแปรสภาพเป็นแก๊สเช่นเดียวกับบ่อไร้อากาศ แต่แก๊สที่ลอยขึ้นมาจะถูกออกซิไดซ์โดยออกซิเจนที่อยู่ช่วงบนของบ่อทำให้ไม่เกิดกลิ่นเหม็น อย่างไรก็ตามหากปริมาณสารอินทรีย์ที่เข้าบ่อกึ่งไร้อากาศสูงเกินไปจนออกซิเจนในน้ำไม่เพียงพอ เมื่อถึงเวลากลางคืนที่สาหร่ายจะหายใจเอาออกซิเจนและปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา ทำให้ค่าความเป็นกรด-เบสลดต่ำลง และปริมาณออกซิเจนละลายน้ำต่ำลงอาจเกิดสภาวะขาดออกซิเจน และเกิดปัญหากลิ่นเหม็นขึ้นได้ โดยการออกแบบบ่อผึ่งน้ำเสียแบบกึ่งไร้อากาศมีความลึกมากกว่าบ่อใช้อากาศ แต่ลึกน้อยกว่าบ่อไร้อากาศ คือ มีความลึกประมาณ 1.00 – 2.50 เมตร เหมาะสำหรับบำบัดน้ำเสียชุมชน อีกทั้งยังนิยมใช้เป็นบ่อปรับปรุงคุณภาพน้ำขั้นสุดท้าย ก่อนที่จะปล่อยน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ลักษณะสภาพแวดล้อมที่มีอากาศค่อนข้างร้อนอย่างประเทศไทยที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยไม่ต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียสจะทำให้การบำบัดน้ำเสียโดยใช้บ่อกึ่งไร้อากาศมีประสิทธิภาพสูง สามารถรองรับปริมาณความเข้มข้นของสารอินทรีย์ต่อพื้นที่ผิวของบ่อ (surface loading) ได้สูง เกณฑ์ทั่วไปที่ใช้ในการออกแบบประมาณ 20.00 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน โดยใช้ระยะเวลาเก็บกัก (detention time) ประมาณ 10 วัน จะให้ประสิทธิภาพในการลดค่าความสกปรกได้ถึงร้อยละ 85.00 เมื่อเปรียบเทียบกับประเทศเขตหนาวแล้วพบว่าการสร้างบ่อกึ่งไร้อากาศในประเทศไทยจะใช้พื้นที่น้อยกว่า หลักการทำงานของบ่อกึ่งไร้อากาศ แบ่งการทำงานออกเป็น 3 ขั้นตอน

ขั้นตอนที่ 1 เป็นส่วนที่อยู่ชั้นบนของผิวน้ำที่แสงแดดสามารถส่องถึง เรียกว่า aerobic zone จะเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจน (aerobic digestion) มีลักษณะการทำงานเหมือนกับบ่อใช้อากาศนั่นเอง

ขั้นตอนที่ 2 เป็นส่วนที่อยู่ชั้นล่างจนถึงก้นบ่อที่แสงแดดไม่สามารถส่องถึง เรียกว่า anaerobic zone จะเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic digestion) จะมีลักษณะการทำงานเหมือนบ่อไร้อากาศ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ขั้นตอนที่ 3 เป็นความลึกอยู่ตรงกลางระหว่าง aerobic zone และ anaerobic zone ในชั้นนี้บางส่วนจะมีออกซิเจนอิสระบ้างเล็กน้อย บางส่วนอาจไม่มี ดังนั้นจึงต้องอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์ประเภท facultative bacteria เป็นตัวย่อยสลายความสกปรกในชั้นนี้ เพราะจุลินทรีย์ประเภทนี้สามารถทำงานได้ทั้งสภาพที่มีออกซิเจนและสภาพไร้ออกซิเจน

ลักษณะของบ่อกึ่งไร้อากาศที่มีการติดตั้งเครื่องเติมอากาศเพิ่มขึ้น เรียกว่า บ่อเติมอากาศ (aerated lagoon) ทำให้เกิดการเพิ่มปริมาณออกซิเจนได้อย่างดี อีกทั้งยังก่อให้เกิดการกวนน้ำในบ่อให้ไหลเวียนได้อย่างทั่วถึง เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสูงยิ่งขึ้น ทำให้ช่วยลดระยะเวลาเก็บกัก ของน้ำเสียให้สั้นลง ดังนั้นจึงสามารถช่วยประหยัดพื้นที่ในการก่อสร้างลดลงอย่างมาก

1.3 บ่อใช้อากาศ (Aerobic pond) เป็นบ่อดินที่มีจุลินทรีย์หลัก คือ แบคทีเรีย และสาหร่าย ดำรงชีพอยู่ด้วยการพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกันแบบชีวสัมพันธ์หรือภาวะอยู่ร่วมกัน(symbiosis) สาหร่ายจะสังเคราะห์ด้วยแสงโดยใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกมาจากการย่อยสลายสารอินทรีย์คาร์บอนของแบคทีเรีย แล้วปลดปล่อยแก๊สออกซิเจนออกมา แก๊สออกซิเจนที่เกิดขึ้นจะถูกนำไปใช้โดยแบคทีเรียพวกใช้อากาศในการย่อยสลายสารอินทรีย์คาร์บอนในน้ำเสียและให้ผลผลิตออกมาเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งจะถูกสาหร่ายนำไปใช้เป็นวัฏจักร นอกจากนี้แก๊สออกซิเจนที่แบคทีเรียจะนำมาใช้อาจได้จากบรรยากาศรอบ ๆ บ่อผึ่ง ลักษณะของจุลินทรีย์จะแขวนลอยอยู่ในบ่อ ทำให้เกิดสภาวะมีออกซิเจนละลายอยู่ในบ่ออย่างทั่วถึง บ่อไม่ควรลึกเพราะออกซิเจนจากบรรยากาศจะได้แทรกลงไปได้มากขึ้น และสาหร่ายจะได้มีโอกาสรับแสงแดดเพื่อไปใช้ในการสังเคราะห์แสงมากยิ่งขึ้น รอบ ๆ บ่อไม่ควรปลูกต้นไม้ใหญ่หรือสิ่งกีดขวางที่จะบดบังกระแสลมและแสงแดด ระดับความลึกของบ่อลึกประมาณ 1.00 – 1.50 เมตร ระยะเวลาในการเก็บกักน้ำเสียนานประมาณ 10 – 40 วัน ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะของน้ำเสียที่ต้องการบำบัด ในบางครั้งอาจมีการออกแบบบ่อให้มีความลึกน้อยกว่านี้ คือลึกประมาณ 0.30 เมตร เพื่อที่จะทำให้เกิดสาหร่ายจำนวนมาก แล้วเก็บเกี่ยวเอาสาหร่ายที่เกิดขึ้นไปใช้ประโยชน์อื่น ๆ เช่น อาหารปลา ฯลฯ บ่อใช้อากาศมักมีปัญหาสาหร่ายที่หลุดออกมากับน้ำทิ้ง ซึ่งมีปริมาณมาก ทำให้ BOD ของน้ำทิ้งที่ผ่านออกจากบ่อผึ่งสูงกว่ามาตรฐานน้ำทิ้ง เพราะเซลล์ของสาหร่ายประกอบไปด้วยสารอินทรีย์คาร์บอน ถ้าไม่มีวัตถุประสงค์ที่จะนำผลิตผลจากสาหร่ายไปใช้ประโยชน์จึงมักไม่นิยมนำบ่อใช้อากาศนี้มาใช้ในการบำบัดน้ำเสียและนอกจากนี้ยังต้องใช้พื้นที่มากกว่าบ่อผึ่งแบบไร้อากาศหรือกึ่งไร้อากาศ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

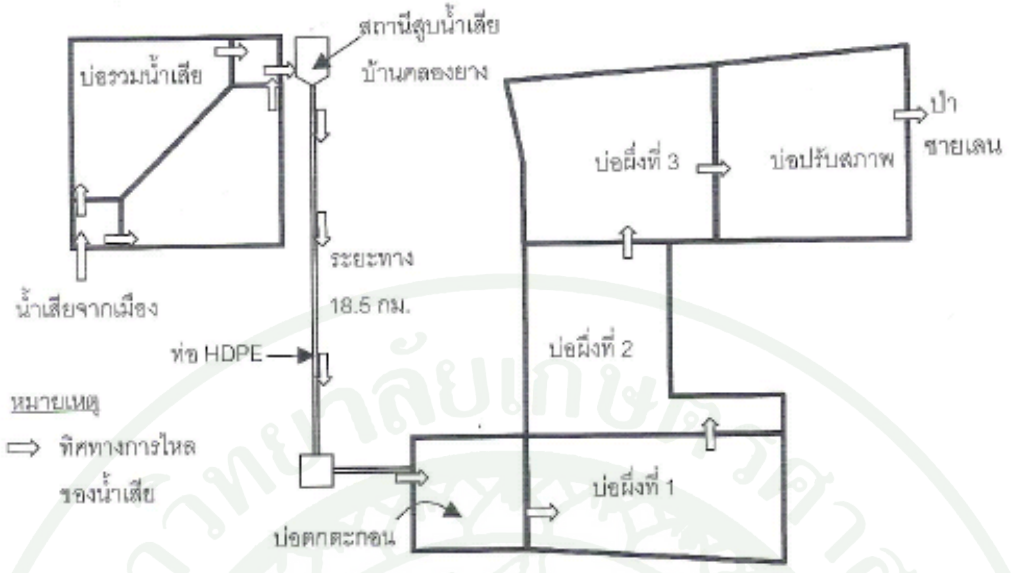
การบำบัดน้ำเสียทางธรรมชาติในพื้นที่โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ มีหลายวิธีการด้วยกัน ระบบบ่อผึ่งน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี จัดสร้างขึ้นตามโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ที่ตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี โดยมีระบบบ่อผึ่งบำบัดน้ำเสียแบบบ่อผึ่ง (Oxidation pond) โดยมีหลักการแบ่งบ่อเป็น 3 ส่วนประกอบด้วยบ่อตกตะกอน บ่อผึ่ง และบ่อปรับสภาพ ซึ่งแบ่งบ่อผึ่งเป็น 3 บ่อย่อย โดยมีทั้งหมด 5 บ่อมีความลึกระหว่าง 1.70-2.30 เมตร มีพื้นที่ 25 ถึง 30 ไร่ ใช้ระบบน้ำล้นต่ออนุกรมกัน น้ำที่นำมาบำบัดมาจากน้ำเสียจากแหล่งชุมชนเทศบาลเมืองจังหวัดเพชรบุรี โดยหลักการทำการเก็บกักน้ำเสียให้จุลินทรีย์ได้ย่อยสลายสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสีย จนกระทั่งน้ำเสียมีคุณภาพดีขึ้น โดยจุลินทรีย์ จะได้รับออกซิเจนจากสองแหล่งด้วยกันคือ จากการถ่ายเทออกซิเจนในบรรยากาศลงสู่แม่น้ำ และจากปฏิกิริยาการสังเคราะห์ด้วยแสง (photosynthesis) ของสาหร่ายที่เกิดขึ้นในบ่อ โดยใช้ระยะเวลาเก็บกักประมาณ 21 วัน จะให้ประสิทธิภาพในการลดค่าความสกปรกได้ถึงร้อยละ 85

ตารางที่ 1 ลักษณะพื้นที่ ความลึกและปริมาตรความจุของบ่อผึ่ง

บ่อย่อย	ลักษณะ	พื้นที่ (ตารางเมตร)	ความลึก (เมตร)	ปริมาตรความจุ (ลูกบาศก์เมตร)
1. บ่อตกตะกอน	สี่เหลี่ยมจัตุรัส	10,217.00	1.919	19,606.42
2. บ่อผึ่งที่ 1	คล้ายสี่เหลี่ยมผืนผ้า	30,408.00	1.479	44,973.43
3. บ่อผึ่งที่ 2	คล้ายรูปตัว L	34,898.00	1.420	49,555.16
4. บ่อผึ่งที่ 3	คล้ายรูปสี่เหลี่ยมด้านไม่เท่า	35,424.00	1.353	47,928.67
5. บ่อปรับสภาพ	คล้ายสี่เหลี่ยมคางหมู	43,131.50	1.228	52,965.48
	รวม	154,150.50		215,029.17

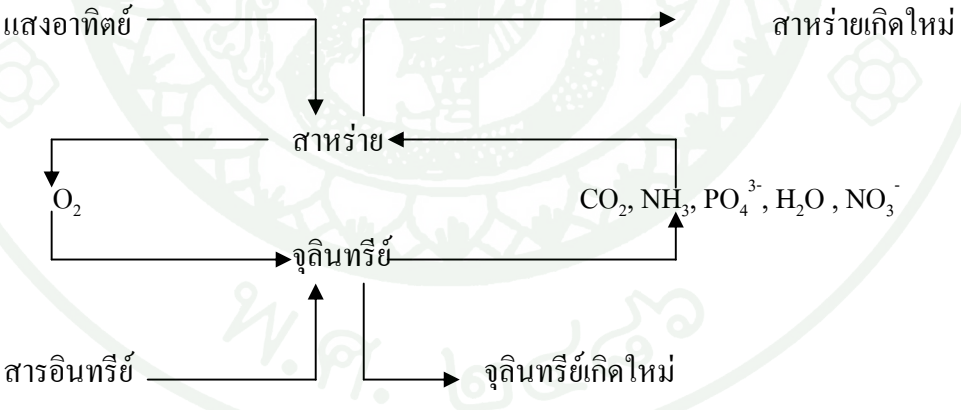
ที่มา: โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ (2549)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 2 ภาพแสดงพื้นที่บ่อผึ่งโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ

ที่มา: โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ (2549)



ภาพที่ 3 ปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์และความสัมพันธ์แบบพึ่งพาอาศัยกันระหว่างแบคทีเรียและสาหร่าย

ประเภทระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อผึ่ง สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ระบบ คือ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.3.1 ระบบบ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบเร็ว ระบบนี้ใช้บ่อตื้น ๆ ความลึกไม่เกิน 0.5 เมตร เพื่อให้แสงแดดส่องถึงก้นบ่อ น้ำทิ้งที่จะบำบัดในบ่อนี้ควรต้องผ่านการบำบัดขั้นต้นก่อน โดยการแยกดินตะกอนและสาหร่ายออกก่อน เพราะหากมีตะกอนจะทับถมจนเต็มบ่อได้ในเวลาอันสั้น ประกอบกับสาหร่ายในบ่อจะเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว เพราะได้รับแสงแดดมาก ทำให้น้ำทิ้งที่ออกจากบ่อมีสีเขียวขุ่น หากระบายทิ้งลงในแหล่งน้ำจะทำให้เกิดปัญหาน้ำเสียขึ้นได้ ซึ่งการแยกสาหร่ายออกอาจทำได้โดยกักน้ำไว้ในบ่อใหญ่เป็นเวลานาน เพื่อให้สาหร่ายตายและตกตะกอนหรือแยกสาหร่ายออกโดยตกตะกอนด้วยสารเคมี (chemical coagulation) แล้วแยกตะกอนออก

1.3.2 บ่อผึ่งแบบกึ่งระบบนี้ใช้บ่อลึกไม่เกิน 2 เมตร ทำให้แสงแดดส่องถึงไปไม่ตลอดระดับความลึก การเจริญเติบโตของสาหร่ายจะช้ากว่าในบ่อแบบบ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบเร็ว น้ำเสียที่จะนำมาบำบัดไม่จำเป็นต้องตกตะกอนก่อนเพื่อให้เกิดชั้นตะกอนทับถมอยู่ก้นบ่อเกิดการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ปฏิกิริยาชีวเคมีที่เกิดขึ้นในส่วนบนของบ่อเป็นแบบใช้ออกซิเจน ส่วนปฏิกิริยาในส่วนล่างเป็นแบบไม่ใช้ออกซิเจน น้ำทิ้งที่ออกจากบ่อผึ่งแบบบ่อผึ่งแบบกึ่งมีสาหร่ายไม่มากนัก จึงไม่จำเป็นต้องกำจัดออก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คุณภาพน้ำ

1. ความหมายของคุณภาพน้ำ

คุณภาพน้ำ หมายถึง ความเหมาะสมของน้ำเพื่อใช้ในกิจกรรมของมนุษย์เฉพาะกิจกรรมหรือเฉพาะกรณีไป ซึ่งคุณภาพน้ำตามแหล่งน้ำธรรมชาติโดยทั่วไปจะเปลี่ยนแปลงไปมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับฤดูกาลและสภาพแวดล้อมในแต่ละท้องถิ่นที่แตกต่างกัน เช่น สภาพภูมิประเทศ ลักษณะทางธรณีวิทยา การใช้ที่ดิน ตลอดจนกิจกรรมต่างๆ ของสิ่งมีชีวิตที่เกี่ยวข้องกับน้ำ ดังนั้นคุณภาพน้ำจึงขึ้นอยู่กับภาวะการปนเปื้อนของสารมลพิษในน้ำ แหล่งของสารมลพิษอาจมาจากแหล่งต่างๆ หลายแหล่ง ทำให้น้ำมีการปนเปื้อนสารมลพิษได้มากมายและแตกต่างกันไป

2. ลักษณะทั่วไปของคุณภาพน้ำ

2.1 ความเป็นกรด-เบส มาจากคำว่า positive potential of the hydrogen ions(pH) สิ่งบ่งชี้ค่าความเป็นกรด น้ำบริสุทธิ์ มีค่าเท่ากับ 7 แต่ในน้ำธรรมชาติจะอยู่ในช่วง 4-9 เป็นส่วนใหญ่และค่อนข้างเป็นเบสเล็กน้อย เนื่องจากมีคาร์บอเนตและไฮโดรเจนคาร์บอเนต (กรรณิการ์, 2544)

ความแตกต่างของความเป็นกรด-เบสของน้ำตามธรรมชาติขึ้นอยู่กับลักษณะของภูมิประเทศและสภาพแวดล้อมหลายประการ ระดับความเป็นกรด-เบสของน้ำจะผันแปรตามระดับความเป็นกรด-เบสของดิน ในบริเวณที่ดินมีสภาพความเป็นกรดจะทำให้น้ำมีสภาพความเป็นกรดไปด้วย นอกจากนี้อิทธิพลของสิ่งมีชีวิตในน้ำ โดย Mara (1978) พบการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่าย ทำให้ค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำในบ่อเกิดการเปลี่ยนแปลงในรอบวันโดยค่าอาจเพิ่มสูงขึ้นถึง 10 ทั้งนี้เกิดเนื่องจากอัตราการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ของสาหร่ายในการสังเคราะห์ด้วยแสงมากกว่าอัตราการหายใจของแบคทีเรียผลคือการแตกตัวของไบคาร์บอเนตไอออนได้คาร์บอนไดออกไซด์และไฮดรอกซิลไอออน ซึ่งสาหร่ายนำคาร์บอนไดออกไซด์ไปใช้คงเหลือไฮดรอกซิลไอออนเป็นจำนวนมากทำให้ค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำสูงขึ้น ดังสมการที่ (3)

$$HCO_3^- \longrightarrow CO_2 + OH^- \qquad (3)$$

Swinge (1969) กล่าวไว้ว่า ช่วงค่าความเป็นกรด-เบสที่เหมาะสมในการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำอยู่ในช่วง 6.5-9 ช่วงที่ทำให้เกิดการตายของสัตว์น้ำอยู่ในช่วงที่ต่ำกว่า 4 และสูงกว่า 11 สำหรับ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ช่วง 4-5 จะมีผลต่อการขยายพันธุ์ของสัตว์น้ำและช่วง 4- 6.5 การเจริญเติบโตของสัตว์น้ำจะช้ากว่าปกติและค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำเสีย มีความสำคัญในการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางเคมี ฟิสิกส์ และชีววิทยา ซึ่งจะเป็นต้องควบคุมค่าความเป็นกรด-เบสให้คงที่หรือควบคุมให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม

2.2 ของแข็ง หมายถึง สิ่งเจือปนในน้ำที่เหลืออยู่เมื่อระเหยน้ำออกจนหมด ไม่รวมถึงสารบางอย่างที่ระเหยไปกับน้ำ เช่น พวกกรดอินทรีย์และกรดต่าง ๆ ที่ละลายในน้ำ สิ่งเจือปนที่เหลือเป็นของแข็ง มีทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์สามารถละลายในน้ำหรือไม่ก็ได้ ของแข็งทั้งหมดเป็นสิ่งที่เหลืออยู่ภายหลังการระเหยน้ำออกจนหมดและอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส ซึ่งแบ่งได้ 2 ชนิดตามลักษณะการละลาย คือ

2.2.1 ของแข็งละลายน้ำ หมายถึง ส่วนที่ละลายได้ในน้ำ ซึ่งส่วนมาก ได้แก่ เกลืออนินทรีย์ เช่น โซเดียมคลอไรด์, ไบโซเดียมคาร์โบเนต และสารอินทรีย์บางอย่าง เช่น น้ำตาล

2.2.2 ของแข็งไม่ละลายน้ำ หมายถึง ส่วนที่ไม่ละลายในน้ำแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ตามขนาด คือ

1) ของแข็งแขวนลอย หมายถึง ส่วนที่ไม่ละลายในน้ำแต่มีขนาดเล็กพอที่จะแขวนลอย (suspend) อยู่ในน้ำได้ หาได้โดยการกรองน้ำด้วยกระดาษกรองชนิดพิเศษ เรียกว่า glass fiber paper (Whatman GF/C) แล้วนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส แล้วชั่งหาน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นบนกระดาษกรอง

2) ตะกอนหนัก หมายถึง ตะกอนขนาดใหญ่และหนักสามารถตกมารวมกันยังส่วนล่างได้ หาได้โดยการนำตัวอย่างมาใส่ในภาชนะพิเศษ เรียกว่า imhoff cone เนื่องจากของแข็งหรือสิ่งเจือปนในน้ำมีทั้งสารประกอบอินทรีย์และอนินทรีย์ จากคุณสมบัติของสารอินทรีย์ที่ประกอบด้วยแก๊สคาร์บอนเป็นส่วนใหญ่ เมื่อเผาที่อุณหภูมิประมาณ 600 องศาเซลเซียส จะกลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำระเหยออกไป แต่สารอนินทรีย์จะยังคงอยู่ ส่วนที่เป็นสารอินทรีย์หรือสารที่ระเหยออกไปได้เมื่อเผา เรียกว่า volatile solids แต่ส่วนที่คงอยู่ ได้แก่ พวกเกลืออนินทรีย์ เรียกว่า fixed solids

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.3 การวิเคราะห์หาค่าของแข็งมีความสำคัญ ดังนี้

2.3.1 ปริมาณของแข็งทั้งหมดแสดงถึงสิ่งเจือปนในน้ำที่เป็นของแข็ง

2.3.2 ปริมาณของแข็งไม่ละลายน้ำ มีความสำคัญอย่างยิ่งในการควบคุมคุณภาพน้ำของแหล่งน้ำธรรมชาติ เนื่องจากสารแขวนลอยนี้จะกั้นแสงแดดที่ส่องลงมาในน้ำ ส่งผลให้การสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชในน้ำลดลง เป็นการลดปริมาณออกซิเจนในน้ำทางหนึ่ง

2.3.3 ปริมาณของแข็งละลายน้ำบอกให้ทราบถึงปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำตัวอย่าง

2.3.4 การนำไฟฟ้า เป็นการวัดความสามารถของน้ำที่จะให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน คุณสมบัติข้อนี้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้น ชนิดของไอออนในน้ำ และอุณหภูมิ ได้แก่ กรด-เบส และเกลืออนินทรีย์ เช่น Na_2CO_3 และ NaCl เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดีเพราะแตกตัวให้ไอออนบวกและลบในทางตรงข้ามโมเลกุลของสารอินทรีย์ เช่น ซูโครสและเบนซีนไม่แตกตัวในน้ำจึงไม่นำกระแสไฟฟ้า ค่าการนำไฟฟ้าไม่ได้เป็นค่าเฉพาะไอออนตัวใดตัวหนึ่ง แต่เป็นค่ารวมของไอออนทั้งหมดในน้ำ ดังนั้นค่านี้จึงไม่ได้บอกให้ทราบถึงชนิดของสารในน้ำ บอกแต่เพียงว่ามีการเพิ่มหรือลดของไอออนในน้ำเท่านั้น กล่าวคือ ถ้าค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้น แสดงว่า มีสารที่แตกตัวได้ในน้ำเพิ่มขึ้น หรือถ้าค่าการนำไฟฟ้าลดลง แสดงว่า มีสารที่แตกตัวได้ในน้ำลดลง (กรรณิการ์, 2544) นอกจากนี้การนำไฟฟ้ายังขึ้นอยู่กับความเป็นกรด-เบส ถ้าความเป็นกรด-เบสของน้ำมากกว่า 9 หรือน้อยกว่า 5 จะมีผลต่อค่าการนำไฟฟ้าทั้งนี้เพราะ H^+ และ OH^- มีความสามารถในการเคลื่อนที่ได้สูงกว่าไอออนตัวอื่น ๆ ดังนั้นค่าที่ได้จะมาจาก H^+ และ OH^- ซึ่งมาจากความเป็นกรด-เบสของน้ำมากกว่าไอออนอื่น ๆ มีการนำค่าการนำไฟฟ้าไปประยุกต์ใช้ในทางปฏิบัติ โดยเป็นค่าที่แสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารที่ละลายในน้ำดิบและน้ำเสียอย่างรวดเร็ว สำหรับน้ำเสียซึ่งประกอบด้วยน้ำทิ้งจากโรงงาน ค่านี้จะบอกความแปรผันของคุณภาพน้ำทิ้งในแต่ละวัน (อังษณา, 2540)

2.4 ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ เนื่องจากออกซิเจนเป็นแก๊สที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ทั้งที่อาศัยอยู่บนพื้นที่ดินและในน้ำ สิ่งมีชีวิตในน้ำได้รับออกซิเจนจากกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชและการแพร่ของออกซิเจนจากบรรยากาศลงสู่พื้นน้ำ โดย Nemerow (1974) กล่าวไว้ว่า พืชและสัตว์น้ำไม่สามารถมีชีวิตอยู่ได้ถ้าน้ำขาดออกซิเจน สำหรับปริมาณการละลายของออกซิเจนในระยะเวลาใดเวลาหนึ่งนั้น ขึ้นอยู่กับความกดดันอากาศ อุณหภูมิ และความเค็ม ความสามารถในการละลายน้ำได้ของออกซิเจนอยู่ในช่วง 14.6 มิลลิกรัมต่อลิตรที่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

0 องศาเซลเซียส ถึง 6.9 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ 35 องศาเซลเซียส ในสภาพความกดดัน 1 บรรยากาศ ดังนั้นเมื่อความกดดันของบรรยากาศเพิ่มขึ้น จะทำให้ความสามารถในการละลายของออกซิเจนในน้ำมากขึ้นด้วย เช่นเดียวกับน้ำที่มีความเค็มสูงก็จะทำให้ออกซิเจนละลายน้ำได้น้อยลง นั่นคือการละลายของออกซิเจนขึ้นอยู่กับทั้งอุณหภูมิและปริมาณคลอไรด์ในน้ำที่มาจากความเค็ม

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำยังสัมพันธ์กับความสกปรกของน้ำอีกด้วย คือ ถ้าน้ำสกปรกมาก ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำจะถูกใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์มากด้วย และถ้าน้ำที่สกปรกมีจุลินทรีย์อยู่มาก จุลินทรีย์เหล่านี้จะใช้ออกซิเจนในการดำรงชีวิตมาก ทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำลดลงไปด้วย ซึ่งปริมาณออกซิเจนละลายน้ำสามารถใช้เป็นเครื่องชี้บอกสภาพของน้ำได้ดังนี้

2.4.1 ออกซิเจนที่ละลายในน้ำเสียเป็นตัวชี้ว่าปฏิกิริยาทางชีวภาพที่เกิดขึ้น จะเกิดการใช้ออกซิเจนโดยกลุ่มแบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจนจะใช้ออกซิเจนอิสระไปออกซิไดส์สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีอันตราย ในขณะที่แบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจนจะไปรีดิวซ์เกลืออนินทรีย์บางตัว เช่น SO_4^{2-} เกิดผลิตภัณฑ์ที่มีกลิ่นเหม็น จึงจำเป็นที่จะต้องรักษาสภาวะที่เหมาะสมกับการทำงานของแบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจนไว้มิฉะนั้นแบคทีเรียชนิดที่ไม่ใช้ออกซิเจนจะเข้ามาแทนที่ การหาค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำจึงจำเป็นเพื่อที่จะรักษาสภาวะที่มีออกซิเจนในน้ำไว้เพื่อให้เกิดกระบวนการย่อยสลายโดยใช้ออกซิเจนในแหล่งน้ำ

2.4.2 ออกซิเจนที่ละลายในน้ำมีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำต่าง ๆ โดยต้องมีออกซิเจนละลายในน้ำไม่น้อยกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.4.3 ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ เป็นค่าพื้นฐานของค่าบีโอดี ซึ่งใช้เพื่อหาค่าความสกปรกของน้ำเสียและอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันทางชีวเคมี วัดโดยการหาค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำที่เหลือ ณ เวลาต่าง ๆ

2.4.4 ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำช่วยในการควบคุมอัตราเร็วของปฏิกิริยาในกระบวนการย่อยสลายโดยใช้ออกซิเจน

2.4.5 ปริมาณออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (BOD) คือ ปริมาณออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ชนิดย่อยสลายได้ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การหาปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยวัดในส่วนของความต้องการออกซิเจน ซึ่งเท่ากับปริมาณของออกซิเจนที่จุลินทรีย์ต้องการใช้เพื่อออกย่อยสลายสารอินทรีย์ให้กลายเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ (กรรณิการ์, 2544)

การวิเคราะห์ค่าบีโอดีของน้ำเสียนิยมหาในช่วง 5 วัน ณ อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส โดยทั่วไปเรียกว่าค่า BOD_5 ซึ่งค่าบีโอดีของน้ำเสีย จะขึ้นอยู่กับเวลาเป็นสิ่งสำคัญ ค่า BOD_5 จะนิยมใช้กันมากในการแสดงถึงระดับความสกปรกของน้ำเสียจากชุมชน ถ้าแหล่งน้ำนั้นมีค่าความสกปรกสูงแสดงว่า ในน้ำมีสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายง่ายอยู่มากและถูกแบคทีเรียทำการย่อยสลาย ซึ่งจะใช้แก๊สออกซิเจนเป็นจำนวนมากทำให้เกิดการขาดออกซิเจนได้ แต่ในความเป็นจริงเวลา 5 วันจะสามารถย่อยสารอินทรีย์ได้ร้อยละ 60-70 โดยค่า BOD_5 จะคิดจากปริมาณออกซิเจนที่ถูกพวกแบคทีเรียที่มีความสามารถในการย่อยสลายไปสลายสารอินทรีย์ไปเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ดังสมการที่ (4)

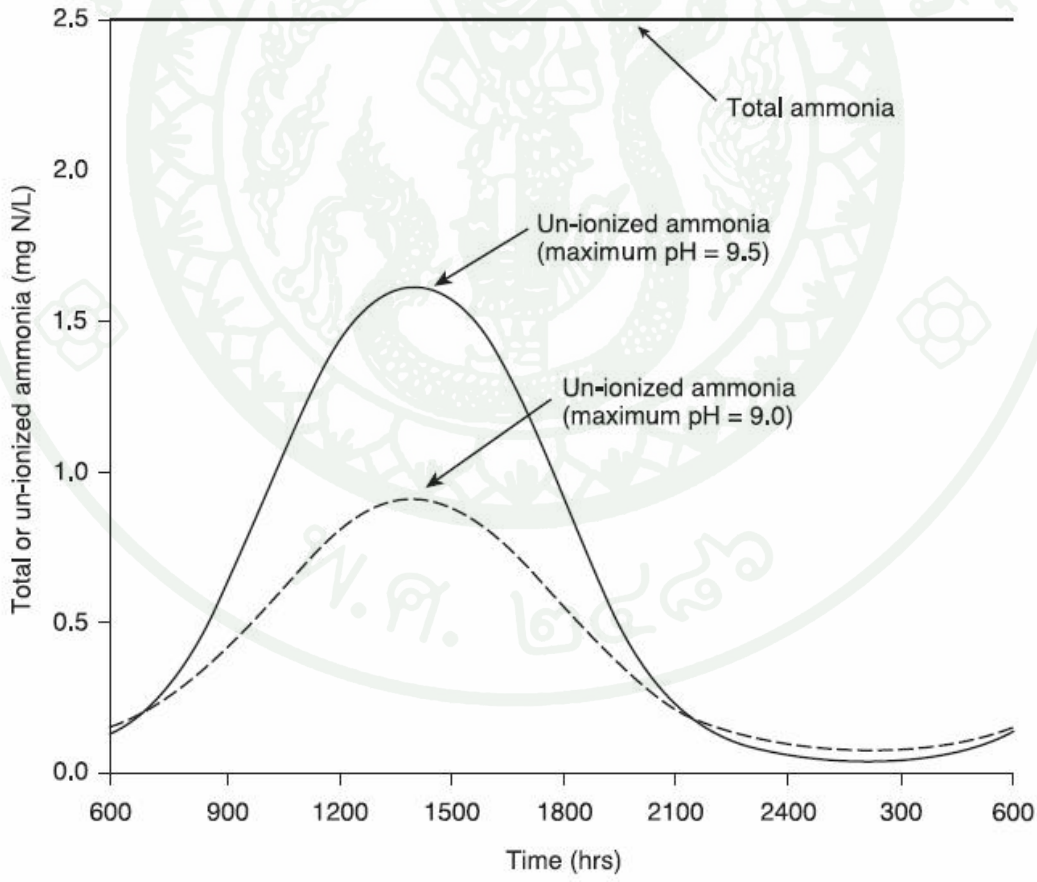
$$\text{สารอินทรีย์} + O_2 \xrightarrow{\text{heterotrophic bacteria}} CO_2 + H_2O \qquad (4)$$

สารอินทรีย์ในน้ำเสียที่สามารถย่อยสลายได้มักใช้เวลาประมาณ 20-30 วัน ในการย่อยสลายสารจนเกือบหมด ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 95-99 ดังนั้น ถ้าใช้เวลาถึง 20 วัน จะทำให้ทราบผลช้าและอาจเกิดความผิดพลาดของค่าที่วิเคราะห์ได้ เนื่องจากในน้ำเสียอาจมีแบคทีเรีย autotrophic พวก nitrifying bacteria ซึ่งจะใช้ออกซิเจนในการออกซิเดชันสารอินทรีย์ คือ แอมโมเนียเป็นไนไตรต์และจากไนไตรต์เป็นไนเตรท ตามลำดับ ทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ถูกใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์มีค่าสูงกว่าที่ควรจะเป็น

2.4.6 สารประกอบไนโตรเจน ไนโตรเจนในน้ำสามารถพบได้ในรูปของ แก๊สไนโตรเจน ไนเตรท (NO_3^-) ไนไตรท์ (NO_2^-) แอมโมเนียอิสระ (NH_3) ไอออนแอมโมเนีย (NH_4^+) ซึ่งตัวกำหนดรูปของแอมโมเนียในน้ำ คือกิจกรรมของจุลินทรีย์ชนิดต่างๆที่อยู่ในน้ำ โดยปัจจัยที่มีผลโดยตรงต่อ กิจกรรมของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ คือ ปริมาณออกซิเจน และ ระดับพีเอช โดยปกติน้ำในบ่อที่มี pH เป็นกลางแอมโมเนียจะอยู่ในรูป แอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) มากกว่า แอมโมเนียอิสระ เมื่อน้ำมีระดับ พีเอชเพิ่มสูงขึ้นพบว่าแอมโมเนียมไอออนจะมีปริมาณน้อยลงและมีระดับของก๊าซแอมโมเนียเพิ่มมากขึ้นซึ่งก๊าซแอมโมเนียสามารถแพร่ขึ้นสู่บรรยากาศได้ประมาณร้อยละ 2 - 38 ต่อวัน (Boyd, 1979)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เมื่อค่าความเป็นกรดเบสของน้ำเท่ากับ 7.0 และอุณหภูมิเท่ากับ 30 องศาเซลเซียส จะเกิดแอมโมเนียมไอออนประมาณร้อยละ 99.2 และค่าแอมโมเนียอิสระร้อยละ 0.8 ของแอมโมเนียทั้งหมดที่อุณหภูมิเดียวกัน แต่ถ้าค่าความเป็นกรดเบสเพิ่มขึ้นจะเกิดแอมโมเนียมไอออนจะลดลงแต่ปริมาณสัดส่วนของแอมโมเนียอิสระจะเพิ่มขึ้น ปริมาณแอมโมเนียในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ จะมีปริมาณสูงขึ้นตามสภาพกรดเบสของน้ำและระยะเวลาในการเลี้ยงจะมีช่วงที่สูงขึ้น ซึ่งเกิดจากอาหารและการขับถ่ายของสัตว์น้ำ หากมีการเลี้ยงสัตว์น้ำแบบ ต่อเนื่องจึงควรมีข้อมูลคุณภาพน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงเพื่อประโยชน์ในการเลี้ยงสัตว์น้ำรุ่นต่อไป และอาจใช้อ้างอิงได้ถ้าเกิดปัญหาในการเลี้ยง เมื่อความเข้มข้นของแอมโมเนียในแหล่งน้ำสูงขึ้น ปริมาณแอมโมเนียอิสระและแอมโมเนียมไอออนในแต่ละช่วงของวันมีปริมาณที่ไม่เท่ากันจะขึ้นอยู่กับช่วงเวลาของวัน โดยแอมโมเนียมไอออนมีปริมาณเริ่มสูงขึ้นในช่วงเช้าและจะสูงสุด ช่วงกลางวันและเริ่มต่ำลงในช่วงบ่าย ซึ่งจะตรงกันข้ามกับปริมาณแอมโมเนียอิสระ ซึ่งแนวโน้มปริมาณแอมโมเนียมไอออนแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการเลี้ยงกับปริมาณแอมโมเนีย

ที่มา: Hargreaves *et al.* (2004)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

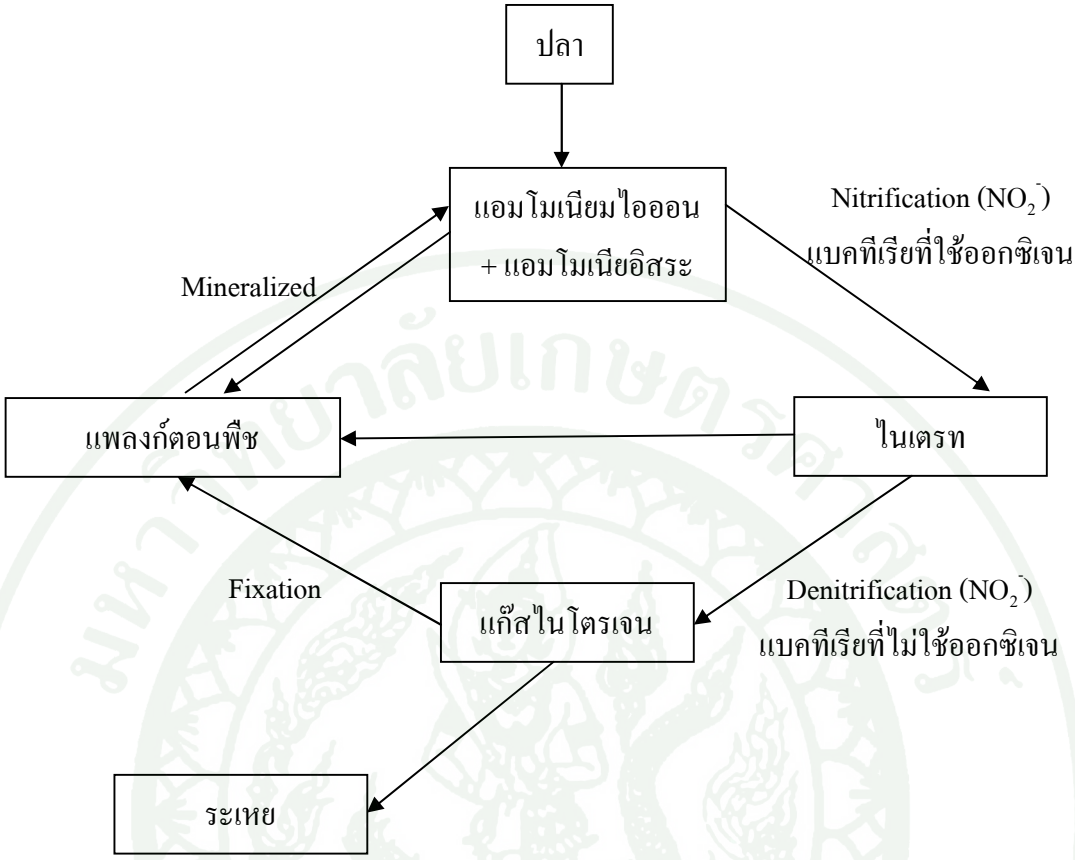
แอมโมเนีย เป็นแก๊สไม่มีสี มีกลิ่นฉุน สามารถละลายน้ำได้ดี แอมโมเนียที่พบในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจะเกิดจากการย่อยสลายอินทรีย์ไนโตรเจน การขับถ่ายของสิ่งมีชีวิต ซากของสิ่งมีชีวิตที่ตายแล้ว ปุ๋ยและอาหารสัตว์น้ำที่เหลือตกค้าง กระบวนการสลายสารอินทรีย์ไนโตรเจนจนกลายเป็นแอมโมเนีย อิสระ (NH_3) และแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) เรียกว่า Ammonification ซึ่งเป็นกระบวนการผลิตแอมโมเนียที่สำคัญที่สุดของแหล่งน้ำส่วนใหญ่ โดยปกติเมื่อกล่าวถึงแอมโมเนียในน้ำจะหมายถึงแอมโมเนียทั้งหมด (Total ammonia) หรือผลรวมของแอมโมเนียอิสระ (NH_3) และแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) ในน้ำ ดังปฏิกิริยาที่ 5

$$NH_3 + H_2O \rightleftharpoons NH_4OH \rightleftharpoons NH_4^+ + OH^- \qquad (5)$$

ปริมาณแอมโมเนียมีความสำคัญต่อสัตว์น้ำรองมาจากปริมาณออกซิเจน เนื่องจากแอมโมเนียทำให้เกิดความเครียดและอวัยวะของปลา แอมโมเนียที่พบในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจะเกิดจากการกระบวนการเมแทบอลิซึมของปลาเองโดยปล่อยออกมาในรูปของเสียคือแอมโมเนียจะออกมามากบริเวณเหงือกและออกมาเล็กน้อยกับปัสสาวะ (Floyd, 1990) แอมโมเนียอิสระ (NH_3) จะเป็นอันตรายต่อปลาสูงกว่าแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) (Durborow, 2000)

แอมโมเนียอิสระเป็นรูปที่เป็นพิษอย่างมากต่อสัตว์น้ำโดยความเป็นพิษขึ้นกับความเข้มข้นของแอมโมเนียอิสระ แอมโมเนียมไอออนเป็นรูปที่ไม่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำ โดยทั่วไปนิยมรายงานความเป็นพิษของแอมโมเนียในเทอมของความเข้มข้นของแอมโมเนียอิสระมากกว่าแอมโมเนียทั้งหมด สัตว์น้ำส่วนใหญ่เมื่อสัมผัสกับแอมโมเนียอิสระที่ความเข้มข้นในรูปแอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3-N) 1 ถึง 2 มิลลิกรัมต่อลิตร นานประมาณ 1 ชั่วโมงอาจทำให้เกิดการตายอย่างเฉียบพลัน สูงอันตรายจากการที่ได้รับแอมโมเนียอย่างเฉียบพลันจนทำให้ปลาตาย จะพบปริมาณแอมโมเนียอิสระประมาณ 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร และอันตรายจากที่ปลาได้รับอย่างเรื้อรังจนทำให้เกิดการทำลายเหงือกและไต ปริมาณแอมโมเนียอิสระ 0.06 มิลลิกรัมต่อลิตร (Durborow, 2000) และจะทำให้เกิดการติดเชื้อได้ง่าย การเจริญเติบโตช้า และไม่ทนต่อการจับและควบคุม ทำให้เกิดการสูญเสีย (Floyd, 1990) ดังตารางที่ 2

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



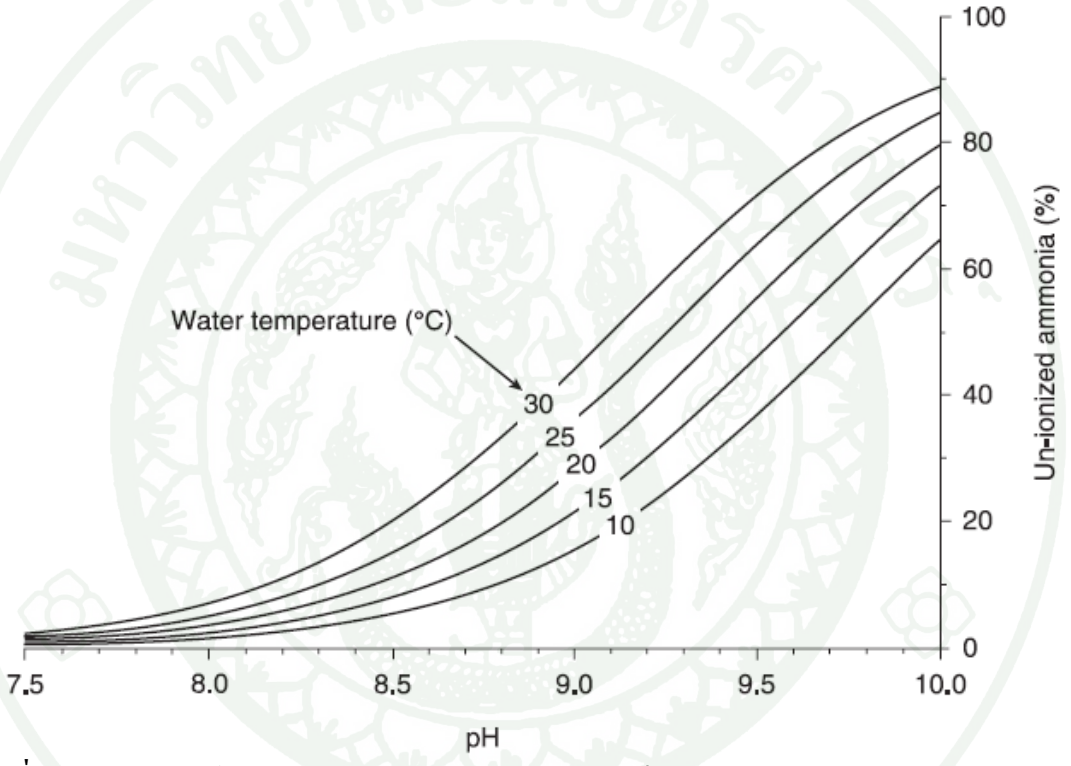
ภาพที่ 5 วงจรของแอมโมเนียและไนโตรเจน

ปลาจะขับของเสียไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียออกมาเป็นฟอร์มหลักในของเสียไนโตรเจนที่ขับถ่ายออกมา และอัตราการขับถ่ายแอมโมเนียจะสูงขึ้นเมื่อมีการให้โปรตีนในอาหารแก่ปลามากขึ้น (Meade, 1985) โดยความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจน (Total Ammonia Nitrogen) ซึ่งเป็นผลรวมของแอมโมเนียไอออน (NH_4^+) และแอมโมเนียอิสระ ถ้ามีปริมาณของแอมโมเนียอิสระมีประมาณ 50 - 200 ไมโครกรัมต่อลิตร จะทำให้อัตราการเจริญเติบโตของปลาลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (Colt and Amstrong, 1981)

Payan and Matty (1975) อธิบายว่าสัตว์น้ำส่วนใหญ่จะขับถ่ายแอมโมเนียออกจากร่างกายโดยทางเหงือกเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งจะขับออกมาจากตับและปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมทางเหงือกประมาณร้อยละ 80 และอีกร้อยละ 20 มาจากกรดอะมิโนที่เนื้อเยื่อเหงือก แอมโมเนียที่ขับออกมาจากเหงือกนั้นได้มีการทดลองเพื่อยืนยันแล้วว่า มีทั้งรูปแอมโมเนียไอออน (NH_4^+) และแอมโมเนียอิสระ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ในแหล่งน้ำจะพบแอมโมเนียมไอออนเป็นส่วนใหญ่ สัดส่วนของแอมโมเนียอิสระและแอมโมเนียมไอออนขึ้นกับค่าความเป็นกรด-เบส อุณหภูมิ โดยค่าความเป็นกรด-เบสจะมีอิทธิพลสูงสุด ปริมาณแอมโมเนียจะเพิ่มขึ้นตามค่าความเป็นกรด-เบสและอุณหภูมิที่สูงขึ้น โดยปริมาณแอมโมเนีย จะสูงขึ้นในฤดูหนาว เนื่องจากปริมาณสาหร่ายมีปริมาณลดลง และอุณหภูมิที่ต่ำ จะทำให้การทำงานของแบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจนมีการทำงานที่ช้าลง ค่ากรดเบสนั้นจะมาจากปริมาณสาหร่ายที่เกิดการตายจะทำให้มีการปลดปล่อยแอมโมเนียในปริมาณสูง



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างแอมโมเนียอิสระกับค่าความเป็นกรด-เบสในอุณหภูมิต่างๆ

ที่มา: Hargreaves *et al*. (2004)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับค่าความเป็นกรด-เบสของแอมโมเนียอิสระในหน่วยมิลลิกรัมต่อลิตร

	TEMPERATURE													
pH	6 (ºC)	8 (ºC)	10 (ºC)	12 (ºC)	14 (ºC)	16 (ºC)	18 (ºC)	20 (ºC)	22 (ºC)	24 (ºC)	26 (ºC)	28 (ºC)	30 (ºC)	32 (ºC)
7.0	.0013	.0016	.0018	.0022	.0025	.0029	.0034	.0039	.0046	.0052	.0060	.0069	.0080	.0093
7.2	.0021	.0025	.0029	.0034	.0040	.0046	.0054	.0062	.0072	.0083	.0096	.0110	.0126	.0150
7.4	.0034	.0040	.0046	.0054	.0063	.0073	.0085	.0098	.0114	.0131	.0150	.0173	.0198	.0236
7.6	.0053	.0063	.0073	.0086	.0100	.0116	.0134	.0155	.0179	.0206	.0236	.0271	.0310	.0369
7.8	.0084	.0099	.0116	.0135	.0157	.0182	.0211	.0244	.0281	.0322	.0370	.0423	.0482	.0572
8.0	.0133	.0156	.0182	.0212	.0247	.0286	.0330	.0381	.0438	.0502	.0574	.0654	.0743	.0877
8.2	.0210	.0245	.0286	.0332	.0385	.0445	.0514	.0590	.0676	.0772	.0880	.0998	.1129	.1322
8.4	.0328	.0383	.0445	.0517	.0597	.0688	.0790	.0904	.1031	.1171	.1326	.1495	.1678	.1948
8.6	.0510	.0593	.0688	.0795	.0914	.1048	.1197	.1361	.1541	.1737	.1950	.2178	.2422	.2768
8.8	.0785	.0909	.1048	.1204	.1376	.1566	.1773	.1998	.2241	.2500	.2774	.3062	.3362	.3776
9.0	.1190	.1368	.1565	.1782	.2018	.2273	.2546	.2836	.3140	.3456	.3783	.4116	.4453	.4902
9.2	.1763	.2008	.2273	.2558	.2861	.3180	.3512	.3855	.4204	.4557	.4909	.5258	.5599	.6038
9.4	.2533	.2847	.3180	.3526	.3884	.4249	.4618	.4985	.5348	.5702	.6045	.6373	.6685	.7072
9.6	.3496	.3868	.4249	.4633	.5016	.5394	.5762	.6117	.6456	.6777	.7078	.7358	.7617	.7929
9.8	.4600	.5000	.5394	.5778	.6147	.6499	.6831	.7140	.7428	.7692	.7933	.8153	.8351	.8585

ที่มา: Emerson, et al. 1975.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปริมาณแอมโมเนียอิสระจะสูงขึ้น ถ้าอุณหภูมิ ค่ากรด-เบสมีค่าสูงขึ้น ซึ่งส่งผลต่อความสามารถในการขับถ่ายแอมโมเนียของสัตว์น้ำจะลดลง ทำให้ระดับแอมโมเนียในกระแสเลือดและเนื้อเยื่อสูงขึ้น ค่าความเป็นกรด-เบสของเลือดสูงขึ้นส่งผลกระทบต่อปฏิกิริยาชีวเคมีต่าง ๆและความคงสภาพของเนื้อเยื่อ ทำอันตรายต่อเหงือกและลดความสามารถของเลือดในการลำเลียงออกซิเจน และเสียชีวิตในที่สุด อย่างไรก็ตามความเป็นพิษของแอมโมเนียยังขึ้นกับปัจจัยอีกหลายประการ เช่น ชนิดของสัตว์น้ำ ขนาดหรืออายุของสัตว์น้ำ สภาพบ่อที่เลี้ยง ความหนาแน่นของการเลี้ยง คุณภาพอื่นๆของน้ำ โดยเฉพาะออกซิเจนละลายที่ความเข้มข้นเดียวกัน แอมโมเนียอิสระจะเป็นพิษมากขึ้นเมื่อมีความเข้มข้นของออกซิเจนละลายต่ำ ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียอิสระที่มีผลกระทบต่อสัตว์น้ำ แบ่งเป็นช่วงได้ดังนี้เมื่อความเข้มข้น 0.1 – 0.4 มิลลิกรัมต่อลิตร สัตว์เจริญเติบโตช้า ความเข้มข้น 0.5 – 1 มิลลิกรัมต่อลิตร สัตว์มีอาการเครียดและหายใจเร็ว ความเข้มข้น 2 – 3 มิลลิกรัมต่อลิตร สัตว์มีอาการเครียด หายใจเร็ว มีการติดเชื้อจากแบคทีเรีย และเริ่มพบการตายเมื่อความเข้มข้น 4 – 5 มิลลิกรัมต่อลิตร อัตราการตายเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้น 6 – 7 มิลลิกรัมต่อลิตร จะเห็นได้ว่าแอมโมเนียแม้จะมีในน้ำปริมาณเพียงเล็กน้อยในระดับส่วนล้านส่วนก็อาจเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ และส่งผลต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอย่างมาก โดยจะทำให้ผลผลิตตกต่ำ สูญเสียมูลค่าการส่งออก ซึ่งส่งผลกระทบต่อประเทศ วิธีการควบคุมปริมาณแอมโมเนียเพื่อไม่ให้เกิดอันตรายต่อสัตว์น้ำในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจึงเป็นสิ่งสำคัญ

ปลานิล

1. ประวัติและการแพร่กระจาย

ปลานิลเป็นปลาพื้นเมืองของแอฟริกาและลุ่มน้ำจอร์แดน มีถิ่นกำเนิดอยู่ในทวีปอาฟริกา พบทั่วไปตามหนอง บึง และทะเลสาบของประเทศซูดาน ยูกันดา และทันกันยิกา รวมไปถึงทวีปอเมริกากลางและใต้ นอกจากนี้ยังพบตามทะเลสาบและแม่น้ำแทบทุกสาย ปลาชนิดนี้พบว่ามีอยู่อุดมสมบูรณ์ตามแถบลุ่มแม่น้ำไนล์ในประเทศอียิปต์และปาเลสไตน์ และยังมีผู้นำไปเลี้ยงในประเทศต่างๆ ของเอเชียอย่างแพร่หลาย เช่น อินโดนีเซีย มาเลเซีย ไต้หวัน และญี่ปุ่น เป็นต้น (มานพ และคณะ, 2536)

สำหรับประวัติความเป็นมาและการแพร่กระจายของปลานิลสายพันธุ์จิตรลดาในประเทศไทยนั้น ปลานิลถูกนำเข้ามาในประเทศไทยครั้งแรกโดยสมเด็จพระจักรพรรดิอากิฮิโตแห่งประเทศญี่ปุ่นเมื่อครั้งดำรงพระอิสริยยศมกุฎราชกุมาร ได้ทรงจัดส่งปลานิลขนาดความยาวเฉลี่ย 9

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เซนติเมตร หนัก 14 กรัม จำนวน 50 ตัว มาทูลเกล้าฯ ถวายแด่พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวภูมิพลอดุลยเดช เมื่อวันที่ 25 มีนาคม พ.ศ. 2508 ซึ่งในระยะแรกได้ทรงพระกรุณาโปรดเกล้าฯ ให้ปล่อยลงเลี้ยงในบ่อซีเมนต์ขนาดเนื้อที่ประมาณ 3 ตารางเมตร ในบริเวณพระตำหนักสวนจิตรลดาพระราชวังดุสิต ต่อมาทรงพระกรุณาโปรดเกล้าฯ ให้ย้ายไปเลี้ยงในบ่อดินเนื้อที่ประมาณ 10 ตารางเมตร ลึก 1 เมตร เมื่อเลี้ยงไว้ในบ่อดินได้ประมาณ 5 เดือนเศษ ปรากฏว่าปลานิลเหล่านี้ออกลูกเป็นจำนวนมาก จึงทรงพระกรุณาโปรดเกล้าฯ ให้เจ้าหน้าที่ขุดบ่อเพิ่มขึ้น รวมเป็นบ่อสำหรับเลี้ยงปลานิลจำนวน 6 บ่อ และทรงปล่อยปลาลงเลี้ยงในบ่อด้วยพระองค์เองเมื่อวันที่ 1 กันยายน พ.ศ. 2508 และได้ทรงพระกรุณาโปรดเกล้าฯ ให้เจ้าหน้าที่จากกรมประมงเข้าไปทำการตรวจสอบการเจริญเติบโตทุกๆ เดือน และในวันที่ 17 มีนาคม พ.ศ. 2509 จึงทรงพระกรุณาโปรดเกล้าฯ พระราชทานปลาขนาดความยาว 3-5 เซนติเมตร จำนวน 10,000 ตัว ให้แก่อธิบดีกรมประมงเพื่อนำไปเพาะเลี้ยงขยายพันธุ์ที่แผนกทดลองและเพาะเลี้ยง ในบริเวณเกษตรกลาง บางเขน (สถานที่ตั้งสถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติในปัจจุบัน) และส่งต่อไปยังสถานีประมงต่างๆ ทั่วประเทศอีกจำนวน 15 แห่ง เพื่อดำเนินการเพาะขยายพันธุ์ และได้พระราชทานชื่อปลาชนิดนี้ว่า “ปลานิล” และกรมประมงได้เริ่มแจกจ่ายให้แก่ราษฎรนำไปเพาะเลี้ยงเมื่อวันที่ 17 สิงหาคม พ.ศ. 2510 และถือปฏิบัติเรื่อยมาจนถึงปัจจุบัน พร้อมทั้งนำไปปล่อยในแหล่งน้ำขนาดเล็กเพื่อให้เจริญเติบโตและแพร่ขยายพันธุ์ทั่วประเทศเพื่อเป็นแหล่งโปรตีนราคาถูกแก่ประชาชนชาวไทย (มานพและคณะ, 2536)

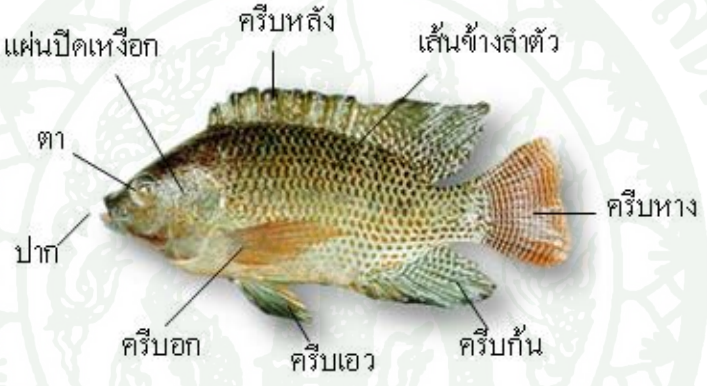
2. ลักษณะของปลานิล

ปลานิลจัดอยู่ในครอบครัว Cichidae และมีการแบ่งทางอนุกรมวิธานได้ 3 สกุล ดังนี้ สกุล *Tilapia* เป็นกลุ่มของปลาที่สร้างรังวางไข่ ฟักไข่ และอนุบาลบนพื้น เพศผู้และเพศเมียจะช่วยกันดูแลไข่และตัวอ่อนที่พื้นตลอดเวลา เช่น *T. zillii*, *T. rendalli* และ *T. sparrmanii* เป็นต้น สกุล *Sarotherodon* เป็นกลุ่มของปลาที่สร้างรังวางไข่บนพื้น หลังจากนั้นเพศผู้หรือเพศเมียเพียงหนึ่งเพศจะดูแลไข่และตัวอ่อนในปาก เช่น *S. galilaeus* และ *S. melanotheron* เป็นต้น และสกุล *Oreochromis* เป็นกลุ่มของปลาที่สร้างรังวางไข่บนพื้น หลังจากนั้นเพศเมียเพียงเพศเดียวจะดูแลไข่และตัวอ่อนในปาก เช่น *O. niloticus*, *O. mossambicus*, *O. aureus*, *O. hornorum* และ *O. macrochir* เป็นต้น

ปลานิลที่นิยมเลี้ยงในประเทศไทยเป็นชนิด *O. niloticus* Linn. มีลักษณะเด่นคือ ลำตัวสีเขียวปนน้ำตาล และมีลายพาดขวาง 9-10 แถบ ครีบหลัง ครีบก้น และครีบหางมีจุดสีขาวและมีเส้นสีดำตัดขวาง มีอัตราการเจริญเติบโตสูง เลี้ยงง่าย แข็งแรง อดทนต่อสภาพแวดล้อมได้ดีสามารถแพร่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พันธุ์วางไข่ตลอดทั้งปี ซึ่งจะสมบูรณ์พันธุ์เมื่ออายุได้ประมาณ 4 เดือน มีความยาวเฉลี่ย11 เซนติเมตร และขนาดพ่อแม่พันธุ์ที่จะให้ลูกปลามากที่สุดจะมีความยาวเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 19.5 –34.4 เซนติเมตร ปลานิลเป็นปลาที่กินทั้งพืชและสัตว์ (Omnivorous) ปลานิลมีชีวิตอยู่ได้ในช่วงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกว้างมากระหว่าง 11 – 42 องศาเซลเซียส และพีเอชระหว่าง 4– 11 แต่ช่วงอุณหภูมิและพีเอช ที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตอยู่ระหว่าง 25 – 35 องศาเซลเซียส และ 7 – 10 ตามลำดับและปลานิลสามารถทนต่อสภาวะปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำต่ำถึง 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ในช่วงเวลาไม่นานนัก แต่ถ้าปริมาณต่ำกว่าระดับ 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตรอยู่ตลอดเวลาจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของปลา



ภาพที่ 7 ลักษณะภายนอกของปลานิล (*Oreochromis niloticus* Linn.)

ปลานิลเป็นปลาที่กินได้ทั้งพืชและเนื้อ (omnivores) กินสาหร่าย แพลงก์ตอนพืช แพลงก์-ตอนสัตว์ และอินทรีย์วัตถุที่อยู่ก้นบ่อ ปลานิลมีฟันอยู่ตำแหน่งขากรรไกรและกระดูกคอทำหน้าที่บดอาหารให้มีขนาดเล็กก่อนส่งผ่านเข้ากระเพาะ ซึ่งกระเพาะอาหารตอนต้นมีลักษณะพิเศษ คือ น้ำย่อยมีความเป็นกรดสูง ค่าพีเอชอาจต่ำกว่า 1.5 (Moriarty, 1973) สามารถย่อยแพลงก์ตอนพืช และสิ่งเน่าเปื่อยได้ดี ลำไส้ปลานิลมีความยาวประมาณ 6-8 เท่า ของความยาวลำตัว (กลุ่มวิจัยอาหารสัตวน้ำ, 2534) กินอาหารตลอดเวลา ปลานิลกินอาหารต่างกันเล็กน้อย ปลาขนาด 1-2 นิ้ว กินรำ แพลงก์ตอนพืช แพลงก์ตอนสัตว์ ครัสเตเชียน และสาหร่ายเส้น ปลาขนาด 3-5 นิ้ว ส่วนใหญ่กิน สาหร่ายเส้น และซากเน่าเปื่อย ส่วนน้อยกินแพลงก์ตอนพืช ตัวอ่อนของกุ้ง ปูแพลงก์ตอนสัตว์ ปลาขนาด 6-8 นิ้ว ส่วนใหญ่กินซากเน่าเปื่อย สาหร่ายเส้น ส่วนน้อยกินตัวอ่อน ของ กุ้ง ปู แพลงก์ตอน-พืช นอกจากนี้มูลไก่ ตะไคร่น้ำ และของเน่าเปื่อยต่าง ๆ ปลานิลก็กินได้ ปลานิลขนาดใหญ่และตัวโตเต็มวัย อาหารส่วนใหญ่เป็นพวกพืช การที่ปลานิลสามารถกินพวกเยื่อใยมากได้ดี เนื่องจากมีทางเดินอาหารยาว (Viola and Arieli, 1983)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. การแพร่พันธุ์

ปลานิลเป็นปลาน้ำจืดที่เลี้ยงง่าย โตเร็ว ลูกดก แข็งแรงและอดทนต่อสภาพแวดล้อมได้ดี สามารถแพร่พันธุ์วางไข่ได้ตลอดปี ทั้งในบ่อเลี้ยงและในแหล่งน้ำธรรมชาติทั่วไป การวางไข่แต่ละครั้งมีช่วงห่างกัน 2-3 เดือน โดยขนาด อายุ และช่วงฤดูกาลของการสืบพันธุ์ของปลา โดยปกติปลานิลที่ยังโตไม่ได้ขนาดผสมพันธุ์หรือสภาพแวดล้อมยังไม่เหมาะสมเพื่อการวางไข่ ปลาจะอยู่รวมกันเป็นฝูง แต่ภายหลังที่ปลามีขนาดที่จะสืบพันธุ์ได้ ปลาตัวผู้จะแยกออกจากฝูงแล้วเริ่มสร้างรัง โดยเลือกเอาบริเวณเชิงลาดก้นบ่อที่มีระดับน้ำลึกระหว่าง 0.5-1 เมตร วิธีการสร้างรังนั้น ปลาจะปักหัวลงโดยที่ตัวของมันอยู่ในระดับตั้งฉากกับพื้นดิน แล้วใช้ปากพร้อมกับการเคลื่อนไหวของลำตัวเขี่ยดินตะกอนออก จากนั้นจะอมดินตะกอนและงับเศษสิ่งของต่างๆ ออกไปทิ้งนอกรัง ทำเช่นนี้จนกว่าจะได้รังที่มีลักษณะค่อนข้างกลม เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 20-35 เซนติเมตร ลึกประมาณ 3-6 เซนติเมตร หลังจากสร้างรังเสร็จเรียบร้อยแล้ว มันจะพยายามไล่ปลาตัวอื่นๆ ให้ออกไปนอกรัศมีของรังประมาณ 2-3 เมตร ขณะเดียวกันพ่อปลาที่สร้างรังจะแผ่ครีบหลังและอ้าปากกว้างในขณะที่มีปลาตัวเมียว่ายน้ำเข้ามาใกล้ๆ รัง และเมื่อเลือกตัวเมียที่ถูกใจได้แล้วก็จะแสดงอาการจับคู่โดยว่ายน้ำเคล้าคู่กันไป และใช้หางดีดและกัดกันเบาๆ การเคล้าเคลียดังกล่าวใช้เวลาไม่นานนัก ปลาตัวผู้จะใช้บริเวณหน้าผากดุนที่ใต้ท้องของตัวเมีย เพื่อเป็นการกระตุ้นเร่งเร้าให้ตัวเมียวางไข่ ซึ่งตัวเมียจะวางไข่ครั้งละ 10-15 ฟอง ปริมาณไข่ที่วางรวมกันแต่ละครั้งมีประมาณ 50-600 ฟอง ขึ้นอยู่กับอายุและขนาดของแม่ปลา เมื่อปลาตัวเมียวางไข่แต่ละครั้ง ปลาตัวผู้จะว่ายน้ำไปเหนือไข่พร้อมกับปล่อยน้ำเชื้อลงไป ทำเช่นนั้นจนกว่าการผสมพันธุ์แล้วเสร็จ โดยใช้เวลาประมาณ 1-2 ชั่วโมง จากนั้นปลาตัวเมียจะเก็บไข่ที่ได้รับการผสมแล้วอมไว้ในปากและว่ายออกจากรัง ส่วนปลาตัวผู้จะคอยหาโอกาสเคล้าเคลียปลาตัวเมียอื่นต่อไป ซึ่งไข่ปลาที่อมไว้ด้วยปลาตัวเมียจะมีพัฒนาการขึ้นตามลำดับ โดยแม่ปลาจะขยับปากให้น้ำไหลผ่านเข้าออกในช่องปากอยู่เสมอเพื่อช่วยให้ไข่ที่อมไว้ได้รับน้ำที่สะอาด ทั้งยังเป็นการป้องกันศัตรูที่จะมากินไข่ ระยะเวลาที่ปลาตัวเมียใช้ฟักไข่แตกต่างกันตามอุณหภูมิของน้ำ โดยในน้ำที่มีอุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส ไข่จะพัฒนาเป็นลูกปลาวัยอ่อนภายใน 8 วัน ที่ฟักตัวออกมา ซึ่งในระยะเวลาดังกล่าว ถุงอาหารยังไม่ยุบ และจะยุบเมื่อลูกปลามีอายุครบ 13-14 วัน นับจากวันที่แม่ปลาวางไข่ ในช่วงระยะเวลาที่ลูกปลาฟักออกเป็นตัวใหม่ๆ ลูกปลานิลวัยอ่อนจะอยู่รวมตัวกันเป็นกลุ่ม โดยว่ายวนเวียนอยู่บริเวณหัวของแม่ปลา และเข้าไปหลบซ่อนอยู่ในช่องปากเมื่อมีภัย เมื่อถุงอาหารยุบลงลูกปลานิลจะเริ่มกินอาหารจำพวกพืชและไรน้ำขนาดเล็กได้ และหลังจาก 3 สัปดาห์ไปแล้ว ลูกปลาก็จะกระจายแตกฝูงไปหากินด้วยตัวเองได้โดยลำพัง (ทัศนีย์, 2524)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4. ความสำคัญของปลานิล

ปลานิลเป็นปลาที่มีรสชาติดี ทำอาหารได้หลายชนิด จึงเป็นที่นิยมกันทั่วไป ประกอบกับราคาปลานิลดีพอสมควรซึ่งราคาขายที่แหล่งผลิตโดยเฉลี่ยกิโลกรัมละ 15.83 บาท ปลานิลเลี้ยงง่าย ใช้เวลาเลี้ยงระยะสั้น แข็งแรงทนต่อสภาพแวดล้อมดี และขยายพันธุ์ได้ตลอดทั้งปี จึงทำให้มีการเลี้ยงปลาชนิดนี้กันมาก ปลานิลเป็นปลาเศรษฐกิจที่มีปริมาณเพาะเลี้ยงมากเป็นอันดับหนึ่งของปริมาณสัตว์น้ำจืดที่เลี้ยงในประเทศ พบเลี้ยงมากที่จังหวัดสมุทรปราการ สุพรรณบุรี และเพชรบูรณ์ เป็นต้น โดยปริมาณผลผลิตและมูลค่าจะเพิ่มขึ้นทุกปี แต่สัดส่วนปริมาณ จะอยู่ที่ประมาณร้อยละ 30 – 33 เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณสัตว์น้ำทั้งหมดที่เลี้ยงในประเทศ ตลาดปลานิลส่วนใหญ่ยังคงใช้บริโภคภายในประเทศเป็นหลัก อย่างไรก็ตามปัจจุบันเริ่มมีการส่งออกปลานิลเป็นสินค้าออกสู่ตลาดต่างประเทศในรูปปลาแล่แช่แข็ง โดยที่ขนาดตลาดต้องการมีน้ำหนักประมาณ 2 – 3 ตัวต่อกิโลกรัม ตลาดที่สำคัญ ได้แก่ ญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกา และอิตาลี นอกจากนี้ยังมีการนำปลานิลมาใช้ประโยชน์ในรูปแบบอื่น ๆ เช่น การผลิตซูริมิ การทำโปรตีนไฮโดรไลเสท และใช้เป็นแหล่งของโปรตีนในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น บะหมี่ปลา และแครกเกอร์ การพัฒนาการเลี้ยงปลาแบบหนาแน่น การศึกษาถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตในปลานิล (Balarin and Haller, 1989) (Dambo and Rana, 1992) และสภาพการเลี้ยงดูเช่นคุณภาพน้ำและระบบการใช้น้ำหมุนเวียน (Recirculation) ต่อการเจริญเติบโตของปลานิล

ตารางที่ 3 ปริมาณ และมูลค่าของผลผลิตของปลานิลตั้งแต่ปี พ.ศ. 2540 ถึง พ.ศ. 2544

ปี	ปริมาณ (ตัน)	มูลค่า (1,000 บาท)
2540	67,773	1,641,931
2541	73,427	1,900,907
2542	76,486	1,997,561
2543	82,363	2,126,741
2544	84,480	2,269,588

ที่มา: โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ (2543) จากข้อมูลกลุ่มวิจัยและวิเคราะห์สถิติการประมง กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พบว่าตั้งแต่ปี 2532 เป็นต้นมา ผลผลิตปลานิลในประเทศไทยจัดเป็นอันดับหนึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับปลาน้ำจืดชนิดอื่นๆ การศึกษาถึงแนวโน้มการตลาดและเศรษฐกิจของปลาทับทิม (Harvey, 1993) การพัฒนาการเลี้ยงปลาแบบหนาแน่น ข้อมูลพื้นที่การเลี้ยงปลานิลพบว่าในภาคตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งมีพื้นที่เขื่อนและอ่างเก็บน้ำจำนวนมาก นิยมเลี้ยงปลานิลในกระชังเพราะให้ผลผลิตสูง และให้ประโยชน์สูงสุดในเชิงเศรษฐศาสตร์สำหรับการใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำทั่วไป (คีรี, 2543)

โลหะหนัก

1. ความหมายและลักษณะทั่วไปของโลหะหนัก

โลหะหนัก (heavy metal) หมายถึง โลหะหนักที่มีความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 5.00 ขึ้นไปไม่รวมโลหะที่เป็นโลหะแอลคาไล (alkali) และโลหะแอลคาไลน์เอิร์ท (alkaline earth) โดยทั่วไปจะเป็นธาตุที่มีเลขอะตอม (atomic number) ตั้งแต่ 23 ถึง 92 อยู่ในคาบที่ 4 - 7 ของตารางธาตุ (ศุภมาศ, 2540)

โลหะหนักชนิดต่าง ๆ เมื่ออยู่ในแหล่งน้ำสามารถสะสมอยู่กับตัวกลาง เช่น ตะกอนดิน พืชน้ำ สัตว์น้ำ หรือแขวนลอยอยู่ในน้ำอย่างอิสระได้ในปริมาณต่าง ๆ กัน ซึ่งปริมาณโลหะหนักที่ปะปนหรือสะสมอยู่ในตัวกลางเหล่านี้ สามารถเปลี่ยนรูปหรือเคลื่อนย้ายไปตามห่วงโซ่อาหารโดยขึ้นกับการสะสมและการเคลื่อนย้ายในตัวกลางแต่ละชนิด

Alina and Henryk (1992) กล่าวว่า โลหะหนักที่สะสมในแหล่งน้ำมีทั้งในรูปที่ละลายน้ำและอยู่ในสารแขวนลอย ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำมีโอกาสเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาเนื่องจากการผสมผสานของสารแขวนลอยและพวกที่ละลายน้ำแตกต่างกัน พวกที่อยู่ในรูปสารแขวนลอยสามารถอยู่นานกว่าพวกที่ละลายน้ำ และน้ำมีการเคลื่อนไหวอยู่ตลอดเวลา ทำให้ตะกอนใต้น้ำลอยตัวขึ้น เกิดกระบวนการดูดซับและการคายออกของโลหะหนักระหว่างน้ำและตะกอน โลหะหนักมีสมบัติในการละลายน้ำต่ำ (Velinsky et al., 1994) ในสภาวะที่เหมาะสม เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสภาวะพีเอช ศักย์ไฟฟ้า (E^0) แบบรีดักชั่น หรือศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ ตัวคีเลตและสภาวะอื่น ๆ สามารถตกตะกอนได้ (Salomon and Forstner, 1984) และเปลี่ยนจากวัฏภาคที่ละลายน้ำไปเป็นวัฏภาคของแข็งด้วยการดูดซับบนพื้นผิวของสารแขวนลอย แล้วจึงจมตัวทับถมเป็นตะกอน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ต่อไป ดังนั้นตะกอนจึงมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งในการสะสมโลหะหนักเป็นอย่างมาก (Chester and Vontsinon, 1981)

ความเข้มข้นของโลหะหนักในผิวน้ำ ถูกควบคุมโดยกระบวนการดูดซับทางกายภาพและทางเคมีของสารชีวภาพในน้ำ การย่อยสลายของแบคทีเรียและสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก เช่น แพลงก์ตอน ทำให้โลหะหนักเคลื่อนย้ายออกจากตะกอนดินและกลับสู่แหล่งน้ำ ดังนั้น สิ่งมีชีวิตในน้ำ จึงมีการสะสมโลหะหนัก สัตว์น้ำส่วนใหญ่ได้รับโลหะหนักเข้าไปโดยการกินอาหารในลักษณะต่างๆ ตามชนิดของสัตว์น้ำนั้นๆ การสะสมโลหะหนักโดยการดูดซึมจากน้ำเข้าไปโดยตรงไม่ว่าจะเป็นการซึมผ่านเข้าเหงือกและผิวหนัง เป็นไปได้น้อยมาก แต่การที่พบโลหะหนักได้สูงนั้นเกิดจากโดยโลหะหนักจะเข้าไปสู่สิ่งมีชีวิตในลำดับขั้นที่สูงกว่าในห่วงโซ่อาหารได้เช่นเดียวกับการถ่านทอดพลังงาน

เปี่ยมศักดิ์และกัลยา (2520) ได้ศึกษาถึงการแพร่กระจายของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมบริเวณแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง พบว่าปริมาณโลหะหนัก สะสมในดินจะมีปริมาณมากที่สุด รองลงมาจะพบในปลา และพบในน้ำมีปริมาณต่ำที่สุด

ณิฏฐารัตน์ และสมเกียรติ (2526) ได้สรุปงานวิจัยว่าปริมาณโลหะหนักในอาหารจำพวกสัตว์น้ำในประเทศไทย จะแตกต่างกันไปตามชนิด และขนาดของสัตว์น้ำ ตลอดจนบริเวณแหล่งที่อยู่อาศัย โดยทั่วไปสัตว์น้ำขนาดใหญ่จะมีการสะสมของโลหะหนักมากกว่าสัตว์น้ำขนาดเล็ก และปริมาณโลหะหนักในสัตว์หน้าดินจะสูงกว่าสัตว์ที่หากินบริเวณผิวน้ำ และจะพบในตับมีปริมาณสะสมของโลหะหนักสูงสุดและในกล้ามเนื้อจะพบปริมาณโลหะหนักต่ำที่สุด

2. แคดเมียม

2.1 สมบัติของแคดเมียม

แคดเมียม (Cd) เป็นธาตุที่อยู่ในกลุ่มของธาตุทรานสิชั่นโดยมีเลขอะตอม 48 มวลอะตอม 112.40 มีจุดหลอมเหลวที่ 321.00 องศาเซลเซียส และจุดเดือดที่ 765.00 องศาเซลเซียส มีเลขออกซิเดชั่นเท่ากับ 2^+ ซึ่งเป็นโลหะอ่อน สีเงิน ตัดง่าย และตีแผ่ได้ สามารถละลายได้ในกรดโดยเฉพาะกรดไนตริก และละลายได้มากในสารละลายแอมโมเนียมไนเตรท แคดเมียมเป็นธาตุที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันกับสังกะสีและปรอทในตารางธาตุ จึงมีลักษณะทางฟิสิกส์และเคมีคล้ายคลึงกัน แต่แคดเมียมมีความเป็นพิษสูง สามารถเข้ามาแทนที่สังกะสีในระบบเอนไซม์ เนื่องจากมีลักษณะ

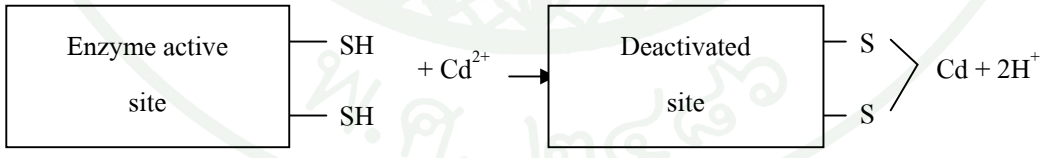
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โครงสร้างของอะตอมคล้ายคลึงกันโดยมีอัตราส่วนแคดเมียมต่อสังกะสีในช่วงประมาณ 1.00 : 100.00 ถึง 1.00 : 1,000.00 (ศุภมาศ, 2540)

แคดเมียมเป็นองค์ประกอบอยู่ในแบตเตอรี่แคดเมียม-นิเกิล โลหะเจือผสมอยู่ในภาชนะเครื่องดื่ม ขันน้ำ พลาสติกพีวีซี (PVC) นอกจากนี้ยังเป็นส่วนผสมในสี น้ำมันเครื่อง ยาง สารกำจัดเชื้อราและปุ๋ย โดยเฉพาะปุ๋ยฟอสเฟต (ยุพดี, 2540) เมื่อชุมชนมีการหลอมและเผาขยะพวกพลาสติก ก่อให้เกิดแคดเมียมปนเปื้อนสู่บรรยากาศ และตกลงสู่พื้น ลงสู่แหล่งน้ำต่อไป (Brames and Anthony, 1983) Amrhein and Strong (1990) กล่าวเพิ่มเติมว่า แคดเมียมผสมในน้ำมันดีเซลและการสึกกร่อนของยางรถยนต์เป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้เกิดการกระจายของแคดเมียมลงสู่สิ่งแวดล้อม (ยุพดี, 2540)

2.2 ความเป็นพิษของแคดเมียม

สำหรับในสัตว์และมนุษย์ แคดเมียมในรูปโลหะอิสระสามารถเข้าสู่ร่างกายได้หลายทาง เช่น แคดเมียมเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจในลักษณะของฝุ่นละอองหรือไอโลหะ เป็นต้น เมื่อแคดเมียมเข้าสู่ร่างกายจะสะสมอยู่ที่ตับ ไต กระดูก และเนื้อเยื่อต่าง ๆ มีกลไกการออกฤทธิ์ คือ Cd^{2+} จะทำปฏิกิริยากับ substrate ที่มี thiol ประกอบอยู่ เช่น cysteins และ hemoglobin ในอัตราส่วน Cd^{2+} ต่อ SH-group เท่ากับ 1.00 : 2.00 และยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ จัดเป็นปฏิกิริยาที่ไม่ผันกลับ (irreversible reaction) ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 การจับคู่ของแคดเมียมตรงบริเวณบริเวณเร่งของเอนไซม์

ที่มา: Manahan (1992).

ไอออนของแคดเมียมจะรวมตัวกับหมู่ –SH และยับยั้งเอนไซม์ทั่วไปแบบไม่เฉพาะเจาะจง เอนไซม์จะหยุดทำงาน ทำให้เมแทบอลิซึมหลายขบวนการหยุดนิ่งไปด้วย ดังนั้นจุดแรกที่แคดเมียมจะทำลาย คือ เยื่อหุ้มเซลล์ เพราะว่ามีหมู่ –SH จำนวนมาก ซึ่งจำเป็นต่อ permeability และ active

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

transport ของเซลล์ เมื่อหมู่ –SH รวมกับ Cd^{2+} เป็น –SCd ทำให้สูญเสียสภาพธรรมชาติทางชีวเคมี หากแคดเมียมเข้าไปในเซลล์ได้ จะเข้าไปรวมกับสารที่มีหมู่ –SH ใน ไซโทรพลาสซึม ไมโทรคอนเดีย ไลโซไซม์ และนิวเคลียส มีความเสียหายเพิ่มขึ้นตามลำดับในกรณีที่มีพิษเรื้อรัง พบว่า เซลล์ของตับ ไต ลำไส้ กล้ามเนื้อหัวใจและสมองถูกทำลายและอักเสบ อาการหนึ่งที่เกิดจากไตอักเสบ คือ ปัสสาวะน้อยลงหรือปัสสาวะไม่ออก (ไมตรี, 2531)

จากรายงานของ Duffus (1980) กล่าวว่า ในปี พ.ศ. 2498 โรคพิษแคดเมียมได้เกิดขึ้นที่บริเวณตอนเหนือของญี่ปุ่น โดยมีสาเหตุจากการสะสมของแคดเมียมในข้าวและถั่วเหลือง ลักษณะอาการคือ ปวดที่บั้นเอวอย่างรุนแรง และมีอาการคล้ายคนกระดูกหัก กระดูกมีรูพรุนมาก เป็นเหตุมาจากกลไกการยับยั้งการซ่อมแซมกระดูก เรียกโรคนี้ว่า โรคอิไต-อิไต (itai-itai disease) เป็นโรคที่ทำให้มีความเจ็บปวดทรมานอย่างมาก เพราะแคดเมียมทำให้กระดูกและไตพิการ เกิดความดันโลหิตสูง โรคนี้พบมากในเพศหญิง โดยเฉพาะในหญิงมีครรภ์ ซึ่งมีอาการตามระยะต่าง ๆ ดังนี้

ระยะเริ่มแรก มีอาการปวดบริเวณสะโพก แขน และขา อาการนี้จะหายได้ เมื่อประคบหรือแช่น้ำร้อน

ระยะที่สอง อาการปวดจะมากและนานขึ้น บริเวณฟันที่ติดกับเหงือก มีลักษณะเป็นวงสีเหลือง เรียกว่า วงแหวนแคดเมียมและจะพบโปรตีนในปัสสาวะเล็กน้อย

ระยะที่สาม กระดูกทุกข้อในร่างกายมีอาการปวดร้าว โดยเฉพาะบริเวณกระดูกเชิงกรานและกระดูกหัวเหน่า กระดูกทั่วร่างกายเริ่มบางลง เพราะแคลเซียมละลายออกจากกระดูก

ระยะที่สี่ เป็นระยะที่รุนแรงมากขึ้น ผู้ป่วยเจ็บปวดมากทั่วร่างกายจนเดินไม่ไหว กระดูกสะโพกขาดความแข็งแรง เมื่อเวลาผ่านไป 20 – 30 ปี ผู้ป่วยจะสูญเสียแคลเซียมออกทางปัสสาวะมากขึ้น ซึ่งเป็นระยะที่รุนแรงและเสียชีวิตในที่สุด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. ตะกั่ว

3.1 สมบัติของตะกั่ว

ตะกั่ว (Pb) เป็นธาตุที่อยู่ในกลุ่มของธาตุเรพรีเซนเตติฟ โดยมีเลขอะตอม 82 มวลอะตอม 207.19 มีจุดหลอมเหลวที่ 324.40 องศาเซลเซียส จุดเดือดที่ 1,740.00 องศาเซลเซียส มีเลขออกซิเดชั่นคือ 2+ และ 4+ แต่โดยส่วนใหญ่จะมีเลขออกซิเดชั่นเท่ากับ 2+ ตะกั่วเป็นโลหะที่อ่อนสามารถทุบรีด หลอมได้ง่าย ทนต่อการผุกร่อนได้ดี ทนต่อกรดซัลฟูริกและกรดไฮโดรคลอริก ไม่ละลายในน้ำ แต่ละลายได้อย่างช้า ๆ ในกรดไนตริก และละลายได้บ้างในสารประกอบอะซิเตท (Harrison and Laxen, 1981)

ตะกั่วเป็นองค์ประกอบอยู่ในแบตเตอรี่ ท่อ โลหะผสม ฟิวส์ ตัวพิมพ์ สีป้องกันสนิม ยาฆ่าแมลงบางชนิด แก้วที่มีคุณภาพดีและเป็นส่วนผสมในน้ำมันเบนซิน (Reilly, 1980) นอกจากนี้แล้วยวดยานพาหนะเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการกระจายตัวของตะกั่วในบรรยากาศในแหล่งชุมชน

3.2 ความเป็นพิษของตะกั่ว

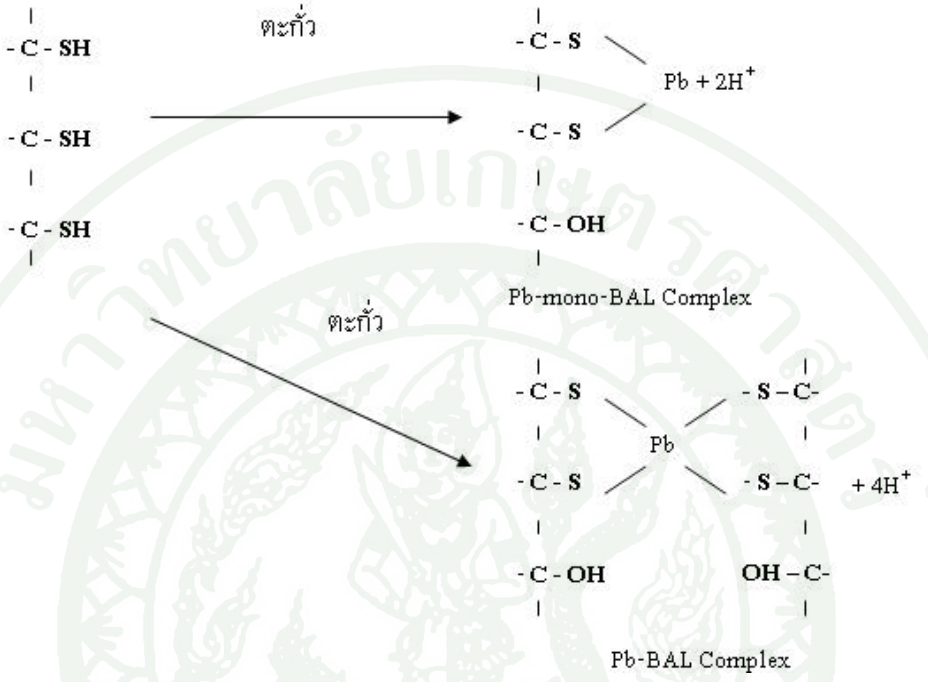
สำหรับในสัตว์และมนุษย์ ตะกั่วสามารถเข้าสู่ร่างกายโดยทางปาก ทางจมูก และทางผิวหนัง เมื่อตะกั่วเข้าสู่ร่างกายจะอยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำคือ เลดซัลเฟต ตะกั่วมีกลไกการออกฤทธิ์คือ ทำให้ส่วน lysosome ของเซลล์ต่าง ๆ แตกออก ทำให้เอนไซม์ acid phosphatase ไหลออกมาจาก lysosome ซึ่งสารประกอบนี้จำเป็นต่อการสร้างพลังงานของร่างกายและขบวนการสร้างโปรตีนในร่างกาย ตะกั่วมีผลต่อการทำงานของเอนไซม์หลายชนิดในขบวนการสร้าง heme ทำให้ระดับของ β-Aminolevulinic acid ในเลือดและปัสสาวะเพิ่มสูงขึ้น จึงสามารถตรวจปัสสาวะหาระดับ β-Aminolevulinic acid (β-ALA) เพื่อวินิจฉัยพิษที่เกิดจากตะกั่วได้ มาลินี (2523) สรุปกลไกการออกฤทธิ์ของตะกั่วต่อขบวนการสร้าง heme ตามระยะดังนี้

ระยะที่ 1 ตะกั่วสามารถเพิ่มระดับเอเอลเอ (ALA) เนื่องจากการทำงานของเอนไซม์ ALA dehydrase ถูกขัดขวางโดยตะกั่ว

ระยะที่ 2 ตะกั่วจะไปขัดขวาง Corproporphynogen III เปลี่ยนไปเป็น Protoporphyrin IX ปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นประมาณ 0.02 ถึง 0.04 เท่า เมื่อเทียบกับปฏิกิริยาในระยะที่ 1

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ระยะที่ 3 ตะกั่วจะไปขัดขวางเอนไซม์ heme synthetase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่มีกลุ่ม -SH ที่จำเป็นต่อการรวมตัวของธาตุเหล็กกับโมเลกุลของ heme

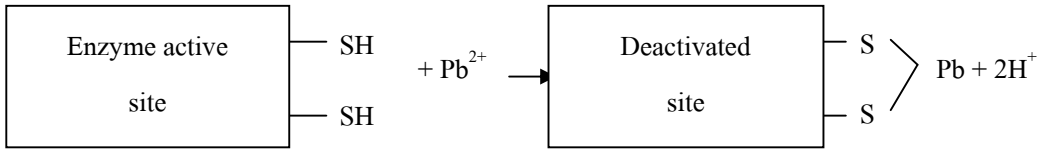


ภาพที่ 9 กลไกการเกิดพิษของตะกั่วต่อขบวนการสร้าง heme ในร่างกาย

ที่มา: มาลินี (2523)

นอกจากนี้ ตะกั่วและสารประกอบตะกั่วจะก่อให้เกิดความเป็นพิษต่ออวัยวะและระบบของร่างกายได้หลายแห่ง โดยมีกลไกการออกฤทธิ์และความเป็นพิษเหมือนกับปรอทและแคดเมียม (Manahan, 1992) ซึ่งสอดคล้องกับ ไมตรี (2531) ได้กล่าวว่า เมื่อหมู่ –SH รวมกับ Pb^{2+} เป็น –SPb (ภาพที่ 9) ทำให้หน้าที่ทางชีวเคมีเสียการทำงาน มีผลทำให้ความต้านทานในการติดเชื้อลดลง สามารถลดการสร้างแอนติบอดีในร่างกาย และจะรวมตัวกับแอนติบอดีในร่างกายด้วยแม้จะได้รับปริมาณเล็กน้อยโดยไม่แสดงอาการให้เห็นก็ตาม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 10 การจับคู่ของตะกั่วตรงบริเวณ active site ของเอนไซม์

ที่มา: Manahan (1992)

Duffus (1980) รายงานว่า ตะกั่วรวมตัวกับเม็ดเลือดแดงแล้วหมุนเวียนเข้าสู่ร่างกาย และสะสมไว้ที่ตับและไต หลังจากนั้นจึงกระจายไปตามกระดูก ฟัน และสมอง ในกระดูกตะกั่วไม่แสดงความเป็นพิษออกมาทันที แต่จะอยู่ในสภาวะที่เตรียมก่ออันตราย เมื่อถูกกระตุ้นด้วยอาการเป็นไข้ หรือได้รับฮอร์โมนพวก cortisone รวมทั้งอายุมากขึ้น ส่งผลให้ตะกั่วแสดงความเป็นพิษออกมา

อาการแพ้พิษของตะกั่วแบ่งเป็น 2 แบบ คือ พิษเฉียบพลัน เมื่อร่างกายได้รับตะกั่วเข้าไปในปริมาณมากในทันทีทันใด เช่น ในเลือดมีมากกว่า 0.80 มิลลิกรัมต่อลิตร เกิดอาการปวดท้องอย่างรุนแรงอาเจียน ปากมีรสโลหะ แต่กระหายน้ำและคอแห้ง อุจจาระมีสีดำ (เกิดจาก PbS) อาการทางประสาท พบว่า มีอาการปวดศรีษะมาก นอนไม่หลับ กล้ามเนื้อไม่มีแรง เดินไม่ตรงทาง อาจชักและหมดสติ (นวรัตน์, 2532) และพิษเรื้อรัง ซึ่งพบในเด็ก อาการจะค่อย ๆ ปรากฏมีอาการอ่อนเพลีย ไม่มีแรง ซีด ปวดท้องบ่อย ๆ โดยหาสาเหตุไม่ได้ ปวดศรีษะ เบื่ออาหาร ท้องผูก น้ำหนักลด นอนไม่หลับ พบเส้นสีม่วงที่เหงือก เนื่องจากมีตะกั่วไปสะสม เรียกว่า เส้นตะกั่ว (lead line) อาการทางประสาท พบว่า บางครั้งซึม ไม่สนใจสิ่งแวดล้อม ความจำเสื่อม แต่บางครั้งจะกระวนกระวาย หงุดหงิด คลุ้มคลั่ง ชัก หมดสติ และอาจตายได้ บางรายมีอาการกล้ามเนื้ออ่อนแรง เดินไม่ตรงทาง ข้อมือ ข้อเท้าตก เนื่องจากประสาทที่ควบคุมกล้ามเนื้อถูกทำลาย ทำให้กล้ามเนื้อทำงานไม่ได้ (นวรัตน์, 2532) นอกจากนี้ตะกั่วยังรบกวนการทำงานทางชีวเคมีของ DNA และ RNA ดังนั้นจึงถือว่าสารตะกั่วเป็นสารก่อการกลายพันธุ์และสารก่อมะเร็งชนิดหนึ่ง

อย่างไรก็ตาม ในปี พ.ศ. 2541 ภารดีได้ศึกษาปริมาณแคดเมียมและตะกั่วเฉลี่ยตลอดปีในท่อระบายน้ำเสียและบ่อรวมน้ำเสีย เทศบาลเมืองเพชรบุรี (ตารางที่ 5) แสดงว่า แคดเมียมและตะกั่วในน้ำเสียมาจากตลาดสดมากที่สุด เท่ากับ 9.00×10^{-3}, 8.40×10^{-2} มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนในบ่อรวมน้ำเสียมีปริมาณแคดเมียมและตะกั่ว เท่ากับ 5.00×10^{-3} และ 1.38×10^{-1} มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ พบว่า ความเข้มข้นของโลหะหนักทั้งสองชนิดในน้ำเสียที่ผ่านบ่อรวมน้ำเสียไม่ลดลง แสดงให้เห็น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ถึง บ่อรวมน้ำเสียไม่สามารถบำบัดโลหะหนัก เนื่องด้วยบ่อรวมน้ำเสียได้รับการออกแบบให้เหมาะสมในการสูบน้ำเสียเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียและมีหน้าที่ในการกำจัดขยะชิ้นใหญ่ ๆ เท่านั้น เป็นเหตุให้แคดเมียมและตะกั่วสะสมในน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัด อีกส่วนหนึ่งตกตะกอนรวมกับตะกอนดินก้นบ่อรวมน้ำเสีย

ตารางที่ 4 ปริมาณแคดเมียมและตะกั่วในน้ำเสียเฉลี่ยตลอดปี เทศบาลเมืองเพชรบุรี

จุดเก็บตัวอย่าง	ปริมาณแคดเมียม (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณตะกั่ว (มิลลิกรัมต่อลิตร)
ที่อยู่อาศัย	8.00×10^{-3}	2.94×10^{-1}
พาณิชยกรรม	6.00×10^{-3}	1.34×10^{-1}
ตลาด	9.00×10^{-3}	8.40×10^{-2}
ขนส่งและคมนาคม	5.00×10^{-3}	4.30×10^{-2}
พื้นที่สีเขียว	5.00×10^{-3}	3.60×10^{-2}
บ่อรวมน้ำเสีย	5.00×10^{-3}	1.38×10^{-1}

ที่มา: ภารดี (2541).

มาตรฐานที่ใช้ในการตรวจสอบ

ตารางที่ 5 มาตรฐานของโลหะหนักที่ทำการศึกษา

โลหะหนักที่ศึกษา	หน่วย	ปริมาณสูงสุดที่ยอมให้มีได้
ตะกั่ว	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 1.0*
แคดเมี่ยม	มิลลิกรัมต่อลิตร	-

หมายเหตุ * อาหารทั่วไป
- ไม่ได้กำหนด

ที่มา: ดัดแปลงมาจากประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 98 (พ.ศ.2529) เรื่อง มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ค่ามาตรฐานของโลหะหนักในสัตว์น้ำของประเทศไทย ยังไม่ได้กำหนด จึงใช้ค่ามาตรฐานของโลหะหนักในอาหารที่ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ซึ่งกำหนดค่ามาตรฐานในตารางที่ 5

ค่ามาตรฐานของโลหะหนักในอาหารที่กำหนดโดยองค์กรต่างๆ แสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 มาตรฐานโลหะหนักในอาหารที่กำหนดโดยองค์กรต่างๆ

ชนิดโลหะหนัก	หน่วย	ปริมาณสูงสุดที่ยอมให้มีได้	องค์กรที่กำหนด
แคดเมียม	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 10 น้ำหนักสด	The Canadian Food And Drug Directorate
แคดเมียม	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 2 น้ำหนักสด	The Nation Health and Medical Research Council
แคดเมียม	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 5.5 น้ำหนักสด	The Tasmanian Public Health
ตะกั่ว	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 10 น้ำหนักสด	The Canadian Food And Drug Directorate
ตะกั่ว	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 10 น้ำหนักสด	The Nation Health and Medical Research Council

ที่มา: ดัดแปลงจาก Eustace (1974)

การศึกษาโลหิตวิทยาในปลา

1. เลือดปลา

เลือดจัดเป็นเนื้อเยื่อชนิดหนึ่งที่ประกอบด้วยส่วนที่เป็นของเหลว เรียกว่าน้ำเลือดหรือพลาสมา คิดเป็นร้อยละ 55 ของปริมาณเลือดทั้งหมด และส่วนที่เป็นเซลล์หรือชิ้นส่วนของเซลล์เรียกว่า formed element หรือ corpuscle คิดเป็นร้อยละ 45 ของปริมาณเลือดทั้งหมด corpuscle ประกอบด้วยเซลล์เม็ดเลือดแดง (erythrocyte) เซลล์เม็ดเลือดขาว (leucocyte) และเพลตเลต (platelet) หรือเกร็ดเลือด พลาสมาเป็นของเหลวค่อนข้างใส สีเหลืองอ่อน มีหน้าที่นำอาหารไปให้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กับเซลล์ของร่างกาย และนำของเสียไปยังอวัยวะขับถ่ายเพื่อกำจัดออกนอกร่างกาย พลาสมามีน้ำเป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 90-93 นอกจากนี้ยังมีสารต่าง ๆ ละลายอยู่อีกหลายชนิด เช่น แร่ธาตุ โปรตีน แอนติบอดี และเอนไซม์ เป็นต้น ส่วนซีรัมเป็นพลาสมาที่ไม่มีไฟบริโนเจน (fibrinogen) ซีรัมของปลามีสีเหลืองเนื่องจากมีแคโรทีนอยด์ในปริมาณสูง ปลากระดูกแข็งมีปริมาณเลือดน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับสัตว์มีกระดูกสันหลังชนิดอื่น คือมีเลือดประมาณร้อยละ 2-5 ของน้ำหนักตัว (Roberts,1978)

เม็ดเลือดแดง พบมากที่สุดในระบบหมุนเวียนเลือด เม็ดเลือดแดงของปลามีรูปร่างรี หรือกลม มีนิวเคลียสติดสีม่วงอมน้ำเงินรูปร่างรีหรือเกือบกลมอยู่ตรงกลางเซลล์ ไซโทพลาซึมติดสีชมพูอ่อนเมื่อย้อมด้วย Wright & Giemsa เม็ดเลือดแดงทำหน้าที่ลำเลียงออกซิเจนให้แก่เนื้อเยื่อต่างๆ และรับคาร์บอนไดออกไซด์กลับไปแลกเปลี่ยนที่เหงือก เม็ดเลือดแดงของปลาสร้างจาก haemopoietic tissue ในไตส่วนต้นและส่วนท้าย โดยจะพบการพัฒนาของเม็ดเลือดระยะต่าง ๆ ในบริเวณนี้ (Blaxhall, 1972)

2. การตรวจโลหิต

ฮีมาโตคริตเป็นอัตราส่วนระหว่างปริมาณเม็ดเลือดแดงต่อปริมาณเลือดทั้งหมด ผลที่ได้คิดออกมาเป็นร้อยละ ค่าฮีมาโตคริตของปลาอยู่ในช่วงกว้างและมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดปลา อายุ ภูมิอากาศ สภาพแวดล้อม ฤดูกาล และความแตกต่างระหว่างเพศ ในปลาเพศผู้มีค่าฮีมาโตคริตสูงกว่าปลาเพศเมีย (Mulcahy, 1970)

ไพโรจน์ (2537) รายงานค่าฮีมาโตคริตของปลาบึกอายุ 3 ปีเศษมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 22-35 โดยมีค่าฮีมาโตคริตเฉลี่ยร้อยละ 30 ส่วนปลาบึกโตเต็มวัยมีค่าฮีมาโตคริตอยู่ในช่วงร้อยละ 30.2-39.0 โดยมีค่าฮีมาโตคริตเฉลี่ยร้อยละ 35.6 ปลาดุก (*Clarias inheriensis* Sydenham) มีค่า ฮีมาโต-คริต อยู่ในช่วงร้อยละ 20.43-41.12 โดยมีค่าฮีมาโตคริตเฉลี่ยร้อยละ 31.62 ปลา brown trout มีค่าฮีมาโตคริตอยู่ในช่วงร้อยละ 20-43 โดยมีค่าฮีมาโตคริตเฉลี่ยร้อยละ 32 ปลาทูนามีค่าฮีมาโตคริตอยู่ในช่วงร้อยละ 42.00-66.00 ปลาดุก *(Ictalurus panctatus*) โดยมีค่าฮีมาโตคริตเฉลี่ยร้อยละ 22.7

Mattesson *et al.* (2001) รายงานว่าการเปลี่ยนแปลงค่าฮีมาโตคริตของปลามักเกิดจากความเครียด (stressor) จากหลายปัจจัย ปัจจัยที่พบบ่อยคือการอดอาหาร (Blaxhall, 1972) การจับและการขนส่ง (Hattingh and Van Pletzen, 1974) การติดเชื้อแบคทีเรีย (Barham et al., 1980) การ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลัน (Munkittrick and Leatherland, 1983) และ การเพิ่มปริมาณ ไนเตรท พบว่ามีผลทำให้ค่าฮีมาโตคริตลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (Jensen et al., 1987) ค่าฮีมาโตคริตที่ลดลงก่อให้เกิดภาวะเลือดจาง (anemia) ซึ่งเป็นผลมาจากปริมาตรของเม็ดเลือดแดง (red blood cell volume) ลดลง การเปลี่ยนแปลงปริมาตรของเม็ดเลือดแดงอาจมีสาเหตุมาจากการเสื่อมสภาพ และการแตกของเม็ดเลือดแดง (Srivastava and Mishra, 1979)

Benfey and Biron (2000) พบว่าความเครียดแบบเฉียบพลันมีผลทำให้ค่าฮีมาโตคริตเพิ่มขึ้นในปลา rainbow trout และ ปลา brown trout โดยอาจมีสาเหตุจากพลาสมามีปริมาตรลดลง เม็ดเลือดแดงมีขนาดใหญ่ขึ้น หรือเกิดจากการปล่อยเม็ดเลือดแดงออกสู่กระแสเลือดมากขึ้น Ewing et,al. (1999) รายงานว่าเมื่อสัตว์อยู่ในสภาวะเครียด ม้ามจะปล่อยเม็ดเลือดแดงออกสู่กระแสเลือดมากกว่าปกติ เพื่อเพิ่มการขนส่งออกซิเจนและมีการขยายตัวของเส้นเลือด (vasodilation) ทำให้การไหลเวียนของเลือดและการขนส่งออกซิเจนดีขึ้น นอกจากนี้ยังควบคุมอุณหภูมิและสมดุลกรด-เบสภายในร่างกายให้เป็นปกติด้วย การเพิ่มของค่าฮีมาโตคริตในปลาสามารถเกิดได้จากหลายสาเหตุดังการทดลองต่อไปนี้ Waiwood (1980) ทดลองแช่ปลา rainbow trout ในทองแดง พบว่าน้ำในพลาสมาถูกดึงเข้าไปในเซลล์กล้ามเนื้อ ทำให้มีปริมาณพลาสมาลดลง ค่าฮีมาโตคริตจึงสูงขึ้น

Casillas and Smith (1977) รายงานว่าปลา rainbow trout มีเครียดจากการถูกจับก็สามารถทำให้ค่าฮีมาโตคริตเพิ่มขึ้นได้ การทดลองให้ปลาขาดออกซิเจน (hypoxia) พบว่าเซลล์เม็ดเลือดแดงบวม เป็นเหตุให้ค่าฮีมาโตคริตเพิ่มขึ้น (Soivio and A. Oikari., 1973) ส่วน McCloskey and Oris (1993) ทดลองแช่ปลา bluegill sunfish (*Lepomis macrochirus*) ใน anthracene เป็นเวลา 96 ชั่วโมง พบว่าค่าฮีมาโตคริตเพิ่มขึ้นอาจมีสาเหตุจากการกระตุ้นให้สร้างเม็ดเลือดแดงเพิ่มขึ้น หรือมีการบวมน้ำของเม็ดเลือดแดง ฮีโมโกลบินเป็นโปรตีนที่เกาะอยู่บริเวณเยื่อหุ้มเซลล์ของเม็ดเลือดแดง มีหน้าที่ลำเลียงออกซิเจน ออกซิเจนจะทำปฏิกิริยากับฮีโมโกลบินในเม็ดเลือดแดงเป็นออกซีฮีโมโกลบิน (oxyhaemoglobin) ปริมาณฮีโมโกลบินในปลาจะแตกต่างกันไป ตามชนิด ลักษณะนิสัย ภูมิอากาศ สภาพแวดล้อม ฤดูกาล และความแตกต่างระหว่างเพศ ค่าฮีโมโกลบินเป็นค่าพื้นฐานที่ถูกนำมาใช้เพื่อเป็นเครื่องชี้วัดการเกิดภาวะเลือดจางในปลาหลายชนิดด้วย (Mulcahy, 1970)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ข้อมูลพื้นฐานเมืองเพชรบุรี

1. สภาพภูมิประเทศ

เทศบาลเมืองเพชรบุรีมีพื้นที่ 5.40 ตารางกิโลเมตร มีแม่น้ำเพชรบุรีไหลผ่านพื้นที่เขตเทศบาลจากทิศใต้ไปสู่ทิศเหนือ มีความยาว 3.70 กิโลเมตร แบ่งพื้นที่เทศบาลออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนตะวันออกของแม่น้ำ เรียกว่า ฝั่งตำบลท่าราบ มีพื้นที่ 3.40 ตารางกิโลเมตร เป็นที่ราบลุ่มในตอนล่างของตำบลเป็นย่านเกษตรกรรม ส่วนตอนกลางของตำบลเป็นย่านพาณิชยกรรมอีกส่วนคือตะวันตกของแม่น้ำ เรียกว่า ฝั่งตำบลคลองกระแชง มีพื้นที่ 2.00 ตารางกิโลเมตร เป็น ที่ราบ มีภูเขาอยู่ตอนเหนือและตะวันออกของตำบล

2. สภาพภูมิอากาศ

จังหวัดเพชรบุรีอยู่ติดกับอ่าวไทยจึงได้รับอิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ในฤดูฝนและอิทธิพล จากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือในช่วงฤดูหนาว จึงทำให้มีอากาศหนาวเย็นในช่วงเวลาดังกล่าว สำหรับช่วงเวลาที่เหมาะสมกับการท่องเที่ยวมากที่สุด คือ ช่วงเดือนธันวาคมถึงเมษายน แบ่งฤดูกาลออกเป็น 3 ฤดูดังนี้

ฤดูร้อน เริ่มตั้งแต่กลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนพฤษภาคม
ฤดูฝน เริ่มตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม
ฤดูหนาว เริ่มตั้งแต่กลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์

ในปี 2551 อุณหภูมิอากาศสูงที่สุด 36.5 องศาเซลเซียส (วันที่ 10 สิงหาคม 2551) อุณหภูมิอากาศต่ำที่สุด 17.5 องศาเซลเซียส (วันที่ 10 ธันวาคม 2551) อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยทั้งปี 28.05 องศาเซลเซียส ปริมาณฝนตกรวมทั้งปี 881.6 มิลลิเมตร มีจำนวนวันฝนตกวัดได้ตั้งแต่ 0.1 มิลลิเมตร จำนวน 116 วัน จากสถิติปริมาณน้ำฝนตั้งแต่ปี 2534 - 2551 รอบ 10 ปี เฉลี่ยวันฝนตกประมาณปีละ 107 วัน ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย ในรอบ 10 ปี (ปี 2542 - 2551) = 981.59 มิลลิเมตรต่อปี มีฝนตกมากในช่วงเดือนกันยายน – ตุลาคม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. การใช้ประโยชน์ที่ดิน

เทศบาลเมืองเพชรบุรี ศึกษาการใช้ประโยชน์ที่ดินในเขตชุมชนเมืองเพชรบุรีซึ่งมีพื้นที่ทั้งหมด 5.40 ตารางกิโลเมตร พบว่า ลักษณะชุมชนเป็นแบบชุมชนศูนย์กลางเดียว โดยมีศูนย์กลางชุมชนอยู่บริเวณฝั่งตะวันออกของแม่น้ำเพชรบุรี ซึ่งมีการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทย่านการค้าและพาณิชยกรรมเป็นส่วนใหญ่ ส่วนทางด้านตะวันตกของแม่น้ำเพชรบุรี มีการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทศูนย์ราชการ การศึกษา การบริการทางสังคม และบริเวณที่อยู่อาศัยกิจกรรมส่วนใหญ่กระจายตัวอยู่ในบริเวณชุมชนเมือง ดังแสดงในตารางที่ 4 ในปี พ.ศ.2539 บริษัท สยาม-เทค กรุ๊ป จำกัด (2540) สำรวจการใช้ประโยชน์ที่ดินในเขตเทศบาลเมืองเพชรบุรี พบว่า เทศบาลเมืองเพชรบุรีมีการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทที่อยู่อาศัยมากที่สุด ซึ่งสูงถึงร้อยละ 47.20 และการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทสวนสาธารณะน้อยที่สุด มีเพียงร้อยละ 0.83 ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 การใช้ประโยชน์ที่ดินในเขตเทศบาลเมืองเพชรบุรี ปี พ.ศ.2539

ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน	พื้นที่ (ตารางกิโลเมตร)	ร้อยละ
ที่อยู่อาศัย	2.55	47.20
พาณิชยกรรม	0.83	15.37
สวนสาธารณะ	0.04	0.83
สถาบันการศึกษา	0.15	2.74
สถาบันศาสนา	0.39	7.22
สถานที่ราชการ	0.87	16.06
ถนน ซอย	0.19	3.56
แม่น้ำ ลำคลอง	0.16	2.98
ที่ว่าง	0.22	4.04
รวม	5.40	100.00

ที่มา: บริษัท สยาม-เทค กรุ๊ป จำกัด (2540).

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4. จำนวนประชากร

ตามประกาศสำนักทะเบียนกลาง กรมการปกครอง ณ วันที่ 31 ธันวาคม 2551 จังหวัดเพชรบุรีมี ประชากร จำนวน 458,975 คน เป็นชาย 222,421 คน หญิง 236,554 คน จำนวนบ้าน 160,240 หลังคาเรือน

5. ข้อมูลอื่นๆ (ด้านสิ่งแวดล้อม)

ปริมาณน้ำเสียสูงสุด (MAX FLOW) รวมทั้งสิ้น 8,329 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ปริมาณน้ำเสียปัจจุบัน (EXIST FLOW) รวมทั้งสิ้น 6,179 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ปริมาณน้ำเสียที่ระบายออก (DISCHARGE) รวมทั้งสิ้น 3,914 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ประมาณการวัสดุที่ไม่ใช้แล้วจากโรงงานฯ ประเภทไม่อันตราย 47,879.88 ตัน/ปี ประเภทอันตราย 6,800.79 ตันต่อปี วัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่มีการขออนุญาตนำออกนอกโรงงาน ปี พ.ศ. 2551 ประเภทไม่อันตราย 24,593.00 ตัน ประเภทอันตราย 3,302.40 ตัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุปกรณ์และวิธีการ

1. อุปกรณ์ภาคสนาม

1.1 อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับเก็บตัวอย่างน้ำ เช่น ขวดเก็บตัวอย่างน้ำประเภทพลาสติกโพลิเอทธิลีน ขนาดความจุ 1 ลิตร ถังน้ำแข็งสำหรับแช่ตัวอย่าง ถังพลาสติก กระดาษฟอยด์และปากกาสำหรับเขียนฉลากขวดตัวอย่างน้ำ เป็นต้น

1.1.1 เทอร์โมมิเตอร์สำหรับวัดอุณหภูมิน้ำ

1.1.2 พีเอชมิเตอร์สำหรับวัดความเป็นกรด-ด่าง

1.1.3 เครื่องวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ

2. อุปกรณ์และสารเคมีต่าง ๆ ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการวิเคราะห์

2.1 เครื่องมือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ได้แก่

2.1.1 เดซิคเคเตอร์ (desciccator)

2.1.2 ตู้อบความร้อน (Oven)

2.1.3 เครื่องชั่งละเอียด (analytical balance)

2.1.4 เครื่องมือสำหรับการกรอง (filtration apparatus)

2.1.5 กระดาษกรอง Whatman GF/C ขนาด 4.7 เซนติเมตร

2.1.6 ขวดแก้วสำหรับตรวจบีโอดี ขนาด 300 มิลลิลิตร พร้อมจุกแก้วปิด

2.1.7 อุปกรณ์เครื่องแก้วต่าง ๆ เช่น กระบอกตวง บิวเรต ขวดรูปกรวย เป็นต้น

2.1.8 Atomic Absorption Spectrometer (AAS) (Buck Scientific Atomic Absorption Spectrophometer Model 210 VGP)

2.1.9 ชุดทดสอบแอมโมเนีย (Ammonia Test-Kit)

2.1.10 เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible Spectrophotometer)

2.2 สารเคมีวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ได้แก่

2.2.1 กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4)

2.2.2 กรดไนตริก (HNO_3)

2.2.3 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.3 อุปกรณ์ ที่ใช้ในเก็บตัวอย่างโลหิตปลา

2.3.1 ไซริงค์ขนาด 5 มิลลิลิตร

2.2.2 เข็มเบอร์ 21

2.2.3 ถุงมือ

2.2.4 น้ำมันกานพลู (Clove oil)

2.2.5 ถังใส่ปลา

2.2.6 เบตาดีนโซลูชั่น (Betadine Solution)

2.2.7 สำลี

2.4 อุปกรณ์และสารเคมีต่าง ๆ ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการเคมีโลหิตและโลหิตวิทยา

2.4.1 เครื่องมือวิเคราะห์ค่าเคมีโลหิตและค่าโลหิตวิทยา ได้แก่

1) เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible Spectrophotometer)
2) เครื่องมือหาค่าดรรชนีการหักเหของสาร (Refractometer)
3) กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Light Microscope)
4) หลอดเก็บตัวอย่างที่มีสาร EDTA เคลือบหลอด
5) หลอดเก็บตัวอย่างที่ไม่มีไอออนปนเปือน (De-ion Tube)
6) Autopipette
7) Micro-Haematocrit Tubes
8) เครื่องมือแยกสารที่ต่างกันด้วยแรงเหวี่ยงจากจุดศูนย์กลาง (Centrifuge)

2.4.2 สารเคมีวิเคราะห์ค่าเคมีโลหิตและโลหิตวิทยา ได้แก่

1) ตรวจปริมาณโซเดียมไอออน ใช้ชุดตรวจ Sodium Rapid (Human Gesellschaft für Biochemica und Diagnostica mbH, Germany) ในโลหิตปลา

2) ตรวจปริมาณแคลเซียมไอออน ใช้ชุดตรวจ Calcium liquicolor (Human Gesellschaft für Biochemica und Diagnostica mbH, Germany) ในโลหิตปลา

3) ตรวจปริมาณคลอไรด์ไอออน ใช้ชุดตรวจ Chloride liquicolor (Human Gesellschaft für Biochemica und Diagnostica mbH, Germany) ในโลหิตปลา

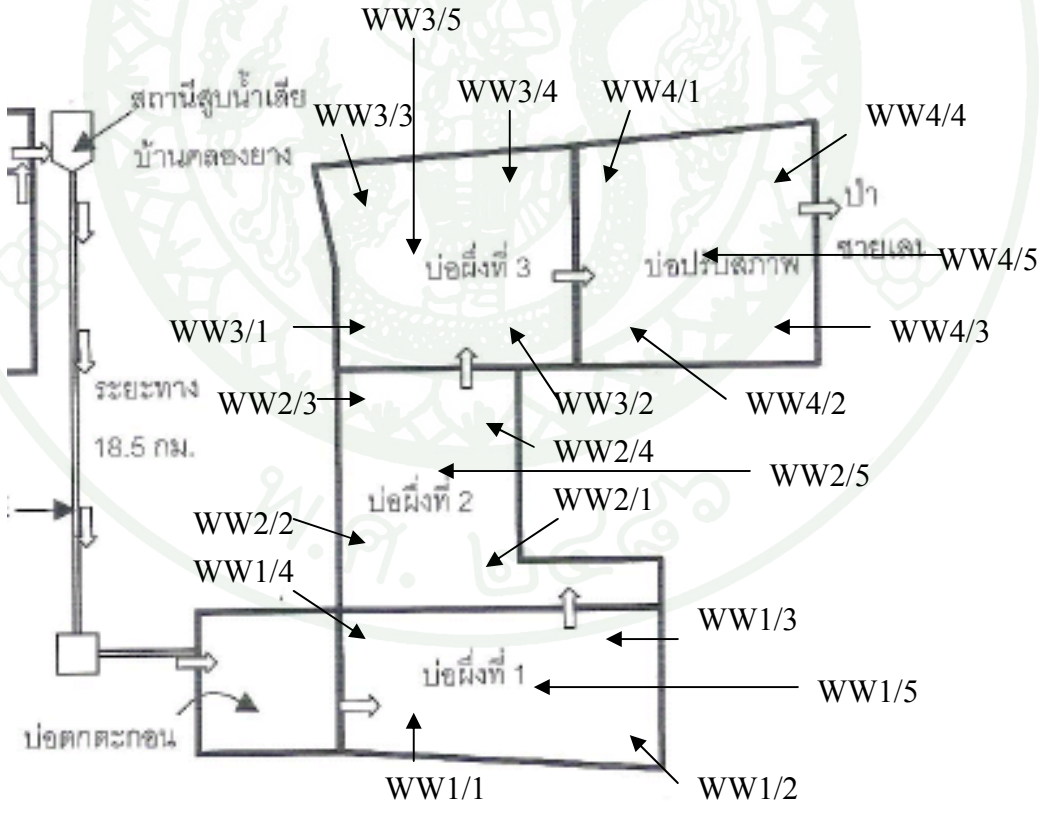
4) Drabbkin solution

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. การเก็บตัวอย่าง

แบ่งกลุ่มการทดลองออกเป็น 4 กลุ่ม โดย 4 กลุ่มนี้จะมีการใช้น้ำที่มีการบำบัดต่อกันไปเป็นแบบอนุกรม โดยเลี้ยงปลานิล 3 ตัวต่อตารางเมตร เวลาที่ใช้ในการศึกษานี้รวมทั้งสิ้น 360 วัน เก็บตัวอย่าง 3 ครั้งใน 3 ฤดูกาล ฤดูฝนเริ่มตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม ฤดูร้อนเริ่มตั้งแต่กลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนพฤษภาคม และฤดูหนาวเริ่มตั้งแต่กลางเดือนตุลาคม ถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ เก็บตัวอย่างน้ำ ดิน และปลานิลเพื่อประเมินถึงความสัมพันธ์ของคุณภาพน้ำและสุขภาพปลานิล ประเมินค่าเคมีโลหิตซึ่งประกอบด้วยปริมาณโซเดียมไอออน ปริมาณคลอไรด์ไอออน และปริมาณแคลเซียมไอออนในโลหิต ค่าโลหิตวิทยาประกอบด้วยค่าฮีโมโกลบิน ค่าพลาสมาโปรตีน และค่าเม็ดโลหิตแดงอัดแน่น

3.1 การเก็บตัวอย่างน้ำและดิน



บ่อปรับสภาพเป็นบ่อควบคุม

ภาพที่ 11 จุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียและดินในบ่อรวบรวมน้ำเสียและระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อผึ่งในโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยฯ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

หมายเหตุ : บ่อปรับสภาพเป็นบ่อควบคุม

จุดที่ WW1/6 คือการนำตัวอย่างที่ WW1/1, WW1/2, WW1/3, WW1/4 และ WW1/5 มารวมกันตัวอย่างละเท่าๆกัน

จุดที่ WW2/6 คือการนำตัวอย่างที่ WW2/1, WW2/2, WW2/3, WW2/4 และ WW2/5 มารวมกันตัวอย่างละเท่าๆกัน

จุดที่ WW3/6 คือการนำตัวอย่างที่ WW3/1, WW3/2, WW3/3, WW3/4 และ WW3/5 มารวมกันตัวอย่างละเท่าๆกัน

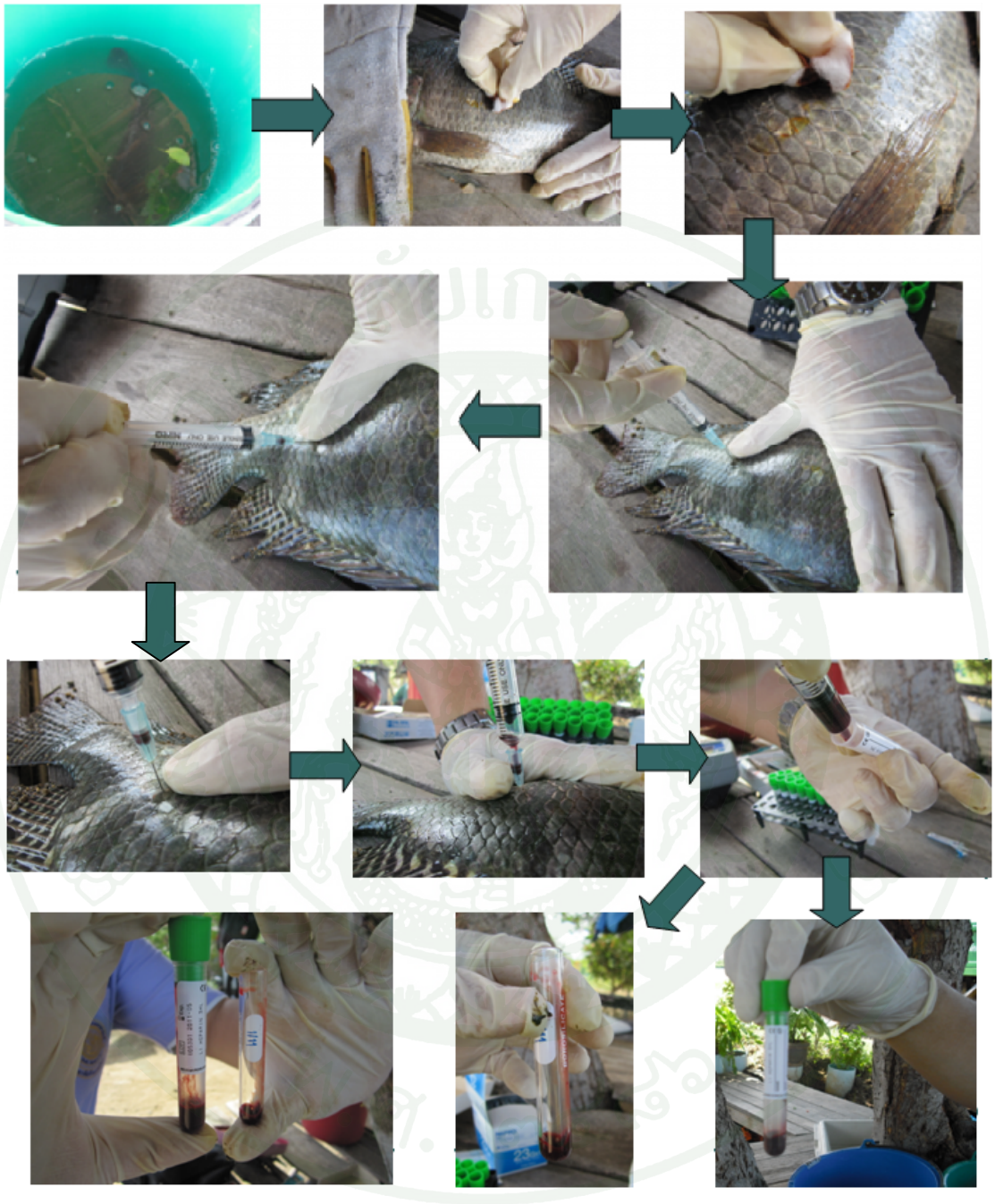
จุดที่ WW4/6 คือการนำตัวอย่างที่ WW4/1, WW4/2, WW4/3, WW4/4 และ WW4/5 มารวมกันตัวอย่างละเท่าๆกัน

การศึกษาครั้งนี้ ได้กำหนดพื้นที่ในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อผึ่งในโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยฯ ประกอบด้วยบ่อดินขนาดใหญ่ จำนวน 5 บ่อ เรียงต่อกันเป็นอนุกรมเก็บตัวอย่างดินและน้ำตามจุดเก็บตัวอย่างดังภาพที่ 11 และจุดที่ 6 จะเป็นการนำตัวอย่างน้ำและดินมาผสมกันในสัดส่วนที่เท่าๆกันในแต่ละจุด

3.2 การเก็บตัวอย่างเลือดปลา

สุ่มจับโดยการหว่านแห จากนั้นทำการวางยาสลบปลาโดยนำปลาไปแช่ในน้ำมันกานพลู (clove oil) ขนาด 50 มิลลิกรัม/น้ำเลี้ยง 1 ลิตร (Gary, 2000) สังเกตอาการจนปลาไม่มีการเคลื่อนไหว เจาะตัวอย่างเลือดจาก Caudal vein ซึ่งอยู่บริเวณหางของปลา ใส่ในหลอดทดลองที่มี Lithium-Heparin ขนาดความเข้มข้น 100 IU/มิลลิลิตร จำนวน 2 ไมโครลิตร เพื่อป้องกันเลือดแข็งตัว (Sakamoto *et al*., 2001) นำเลือดที่เหลือมาแยกพลาสมา โดยนำตัวอย่างเลือดนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที นำไปตรวจทางโลหิตวิทยา โดยแต่ละกลุ่มทดลองจะมีการเก็บตัวอย่างกลุ่มละ 10 ตัวอย่าง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 12 วิธีการเก็บเลือดปลานิลจาก Caudal vein ของปลานิล

3.3 การหาค่าทางโลหิตวิทยา

3.3.1 การหาค่าฮีมาโตรคริต ใช้ไมโครคาปิลลารีทิวเก็บเลือดจากบริเวณโคนหางประมาณสามในสี่ส่วนของหลอด นำไปปั่นในเครื่องมือแยกสารที่ต่างกันด้วยแรงเหวี่ยงจากจุด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ศูนย์กลาง ด้วยความเร็ว 10,000 รอบต่อนาที นาน 5 นาทีเพื่อแยกเม็ดเลือดและพลาสมา อ่านค่าโดยใช้ตารางอ่านค่าฮีมาโตรคิต หาค่าปริมาณเม็ดเลือดแดงอัดแน่น ออกมาเป็นร้อยละโดยปริมาตร

3.3.2 การหาค่าฮีโมโกลบิน โดยเก็บเลือดในหลอดที่มี EDTA เป็นสารป้องกันเลือดแข็งตัว จากนั้นนำเลือด 20 ไมโครลิตรไปผสมกับ Drabbkin solution (Potassium ferriccyanide, Potassium cyanide, Patassium Dihydrogen Phosphate และน้ำ) 5 มิลลิลิตร พักไว้ 10 นาทีแล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องมือวัดปริมาณสีของสารละลาย ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร คำนวณค่า ฮีโมโกลบินได้จากกราฟมาตรฐานฮีโมโกลบินในภาคผนวก

3.3.3 การทำ blood smear โดยหยดเลือดลงบนแผ่นสไลด์ แล้วทำเป็นฟิล์มบาง ๆ ทิ้งไว้ให้แห้ง แล้วจึงย้อมสี Wright & Giemsa

3.4 การหาค่าเคมีโลหิต

3.4.1 แยกเก็บซีรัม แบ่งใส่หลอดขนาด 1.5 มิลลิลิตร หลอดละประมาณ 750 ไมโครลิตร แช่ในน้ำแข็ง จากนั้นนำไปเก็บในตู้แช่ อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส เพื่อรอการนำไปวิเคราะห์หา ค่าต่าง ๆ ตรวจหาโซเดียมไอออน ใช้ชุดตรวจ Sodium Rapid (Human Gesellschaft für Biochemica und Diagnostica mbH, Germany) นำพลาสมา 0.02 มิลลิลิตร ผสมกับ Reagent 1.0 มิลลิลิตร แล้วตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 5 นาที ปั่นด้วยเครื่องมือแยกสารที่ต่างกันด้วยแรงเหวี่ยงจากจุดศูนย์กลาง นาน 5 นาที นำส่วน supernatant ไปวัดค่าดูดกลืนแสงโดยใช้ความยาวคลื่น 410 นาโนเมตร โดยใช้เครื่องเครื่องมือวัดปริมาณสีของสารละลาย การตรวจหาแคลเซียมไอออนใช้ชุดตรวจ Calcium liquicolor (Human Gesellschaft für Biochemica und Diagnostica mbH, Germany) โดยวการนำพลาสมาตัวอย่าง 0.02 มิลลิลิตร ผสมกับ Calcium Reagent 1.0 มิลลิลิตร วัดค่าดูดกลืนแสงโดยใช้ความยาวคลื่น 570 นาโนเมตร โดยใช้เครื่องเครื่องมือวัดปริมาณสีของสารละลาย ภายใน 30 นาทีภายหลังผสม การตรวจหาคลอไรด์ไอออน ใช้ชุดตรวจ Chloride liquicolor (Human Gesellschaft für Biochemica und Diagnostica mbH, Germany) โดยห้ามโดนแสง นำพลาสมาตัวอย่าง 0.02 มิลลิลิตร ผสมกับ Chloride Reagent 1.0 มิลลิลิตร นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงโดยใช้ความยาวคลื่น 590 นาโนเมตร โดยใช้เครื่องเครื่องมือวัดปริมาณสีของสารละลาย ภายใน 60 นาทีหลังผสม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.5 วิธีการเก็บตัวอย่างน้ำ

เก็บตัวอย่างน้ำเสียและตรวจวัดดัชนีคุณภาพน้ำภาคสนามที่จุดที่กำหนดบ่อผึ่งน้ำเสียแบบบ่อผึ่ง ดังนี้

3.5.1 ใช้ถังพลาสติกเก็บตัวอย่างน้ำเสียและทำการวัดค่าความเป็นกรด-เบส และปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ที่ระดับความลึก 0.30 เมตรจากผิวน้ำ

3.5.2 ใช้ขวดพลาสติกโพลิเอธิลีน ขนาด 1 ลิตรเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ระดับความลึก 0.30 เมตร จากผิวน้ำ จำนวนจุดละ 2 ขวด โดยล้างด้วยน้ำตัวอย่างที่จะเก็บจำนวน 3 ครั้ง แล้วบรรจุให้เต็มขวดปิดฝาให้สนิทและปิดฉลากให้เรียบร้อย แล้วเก็บรักษาตัวอย่างน้ำเสียไว้ที่อุณหภูมิไม่เกิน 4 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณของ บีโอดี และไนเตรทไอออน ตามวิธีที่กำหนดใน Standard Method for Wastewater ของ APHA, AWWA and WPCF (1995) ณ ห้องปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.6 วิธีการเก็บตัวอย่างดิน

ใช้ EKMAN GRAB ในการเก็บตะกอนดินหลังจากนั้นนำไปอบให้แห้ง

ภาพที่ 13 เอ็คแมน แกร็บ (EKMAN GRAB)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.7 วิธีการวิเคราะห์โลหะหนัก

3.7.1 นำน้ำตัวอย่างปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใส่ลงในถ้วยกระเบื้อง

3.7.2 เติมกรดไนตริกเข้มข้นปริมาตร 5 มิลลิลิตร

3.7.3 ให้ความร้อนกับถ้วยกระเบื้องให้น้ำระเหยออกไปจนเหลือปริมาตร 10 ถึง 20 มิลลิลิตร

3.7.4 วางไว้ให้มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้องแล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร

3.7.5 นำไปวัดปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrometer

4. การวิเคราะห์ผล

4.1 นำค่าโลหิตวิทยาและค่าเคมีโลหิตมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติดังนี้

4.1.1 ค่าเฉลี่ย

4.1.2 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.1.3 ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง 4 กลุ่มโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One - Way Analysis of Variance)

สถานที่และระยะเวลาทำการวิจัย

ดำเนินการศึกษาวิจัยในระบบบ่อผึ่งน้ำเสียเทศบาลเมืองเพชรบุรีในบริเวณพื้นที่โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ ตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี และตรวจผลทางห้องปฏิบัติการที่วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขนกรุงเทพมหานคร และคณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ดำเนินการวิจัยตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2552 ถึง เดือนมกราคม พ.ศ. 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลและวิจารณ์

1. ค่าคุณภาพน้ำและปริมาณโลหะหนัก

1.1 ปริมาณแอมโมเนียในน้ำ

ตารางที่ 8 ปริมาณแอมโมเนียที่ตรวจวัดได้ในน้ำของแต่ละฤดูกาล

หน่วย : มิลลิกรัมต่อลิตร

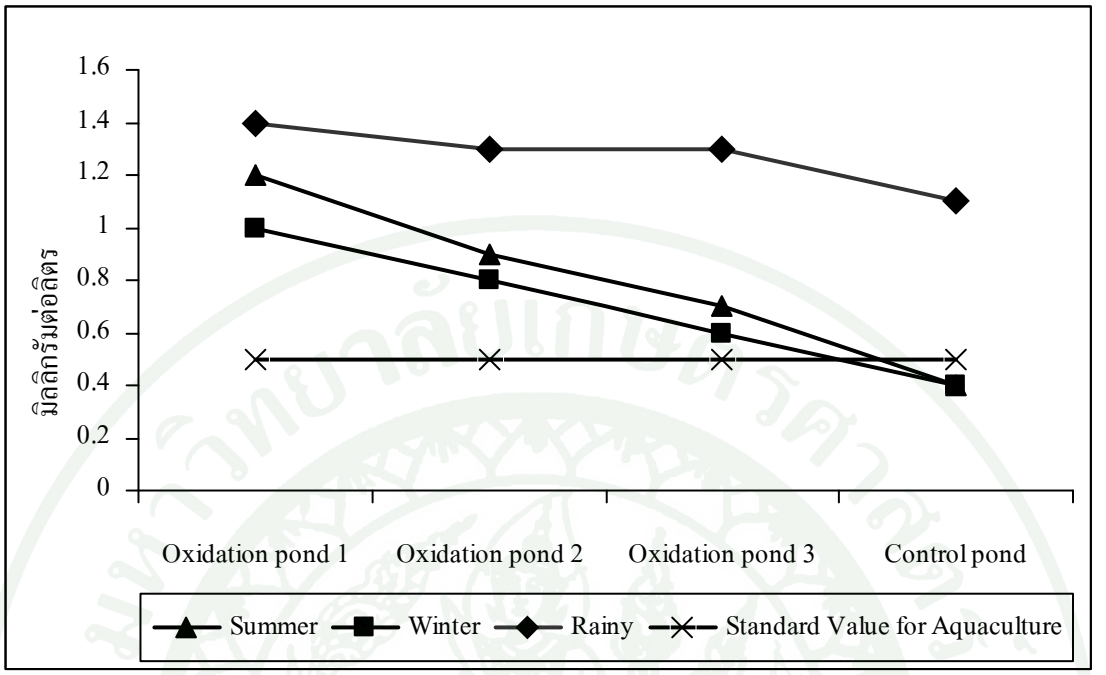
Season	Oxidation pond 1	Oxidation pond 2	Oxidation pond 3	Control pond
Summer	1.2	0.9	0.7	0.4
Winter	1.0	0.8	0.6	0.4
Rainy	1.4	1.3	1.3	1.1

หมายเหตุ ค่ามาตรฐานแอมโมเนียที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำไม่ควรเกิน 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร

ในบ่อผึ่งที่ 1 บ่อผึ่งที่ 2 บ่อผึ่งที่ 3 และบ่อควบคุม ในฤดูกาลเดียวกัน ในแต่ละบ่อมีปริมาณแอมโมเนียที่ลดลง ปริมาณแอมโมเนียในฤดูฝนจะมีปริมาณสูงที่สุด ฤดูร้อนจะมีปริมาณแอมโมเนียที่ต่ำลงมาและฤดูหนาวมีปริมาณแอมโมเนียต่ำที่สุด ในบ่อควบคุมในฤดูร้อนและฤดูหนาวมีปริมาณต่ำกว่าค่ามาตรฐานแต่ในฤดูฝนนั้นมีค่าที่สูงกว่าค่ามาตรฐาน และในฤดูฝนมีปริมาณแอมโมเนียที่สูงที่สุดในสามฤดูกาลส่วนในฤดูหนาวมีแนวโน้มค่าแอมโมเนียต่ำที่สุด ดังตารางที่ 8 และภาพที่ 14

ฤดูฝนมีปริมาณแอมโมเนียสูงกว่าฤดูอื่นมีสาเหตุมาจากฝนชะหน้าดินที่มีปริมาณสารอินทรีย์สูงลงสู่แหล่งน้ำและปริมาณน้ำที่ผ่านเข้าบ่อผึ่งที่มีปริมาณมากกว่าในฤดูกาลอื่น เนื่องจากระบบบ่อผึ่งเป็นบ่อผึ่งแบบน้ำล้นสู่บ่อถัดไปเมื่อน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบ่อผึ่งมีปริมาณสูงมากขึ้นทำให้ระยะเวลาที่น้ำเสียอยู่ในระบบบำบัดมีระยะเวลาสั้นลง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 14 ความสัมพันธ์ของแอมโมเนียในน้ำของแต่ละฤดูกาล

หมายเหตุ *ค่ามาตรฐานแอมโมเนียที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำไม่ควรเกิน 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร

แอมโมเนียที่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำจะอยู่ในรูปแอมโมเนียอิสระ อุณหภูมิกับค่าความเป็นกรด-เบส จะเป็นปัจจัยสำคัญ คือเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น หรือค่าความเป็นกรด-เบสสูงขึ้น แอมโมเนียในรูปมีพิษ (แอมโมเนียอิสระ) จะสูงขึ้นตามไปด้วย ซึ่งวิรัช (2544) กล่าวว่า ปลาจะเริ่มเครียดเมื่อแอมโมเนียในรูปที่เป็นพิษมีความเข้มข้นประมาณ 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร และจะหยุดกินอาหารเมื่อความเข้มข้นประมาณ 1.4 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยในการศึกษาครั้งนี้ถ้าศึกษาเฉพาะค่าแอมโมเนียเพียงอย่างเดียวจะพบว่าแอมโมเนียของบ่อผึ่งที่ 1, 2 และ 3 มีปริมาณที่สูง ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแอมโมเนียกับอุณหภูมิและค่าความเป็นกรด-เบส ของทั้ง 4 บ่อมีปริมาณแอมโมเนียในรูปที่เป็นพิษในปริมาณสูงซึ่งส่งผลกระทบต่อการอาศัยและการเจริญเติบโต

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.2 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ

เมื่อพิจารณาแล้วในแต่ละฤดูกาลแล้วพบว่า มีบ่อผึ่งที่ 1 ที่มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับบ่ออื่นๆในทุกฤดูกาลเดียวกัน และปริมาณออกซิเจนเมื่อผ่านการบำบัดของแต่ละบ่อผึ่งมีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำสูงขึ้นตามลำดับ บ่อผึ่งที่ 2 บ่อผึ่งที่ 3 และ บ่อควบคุม มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำสูงกว่าค่ามาตรฐาน ยกเว้นในฤดูร้อนที่มีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานเล็กน้อย ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในฤดูฝนจะมีปริมาณสูงที่สุด ในฤดูหนาวจะมีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำต่ำลง และในฤดูร้อนจะมีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำต่ำที่สุด ดังตารางที่ 9 และ ภาพที่ 15

ตารางที่ 9 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำที่วัดได้ของแต่ละฤดูกาล

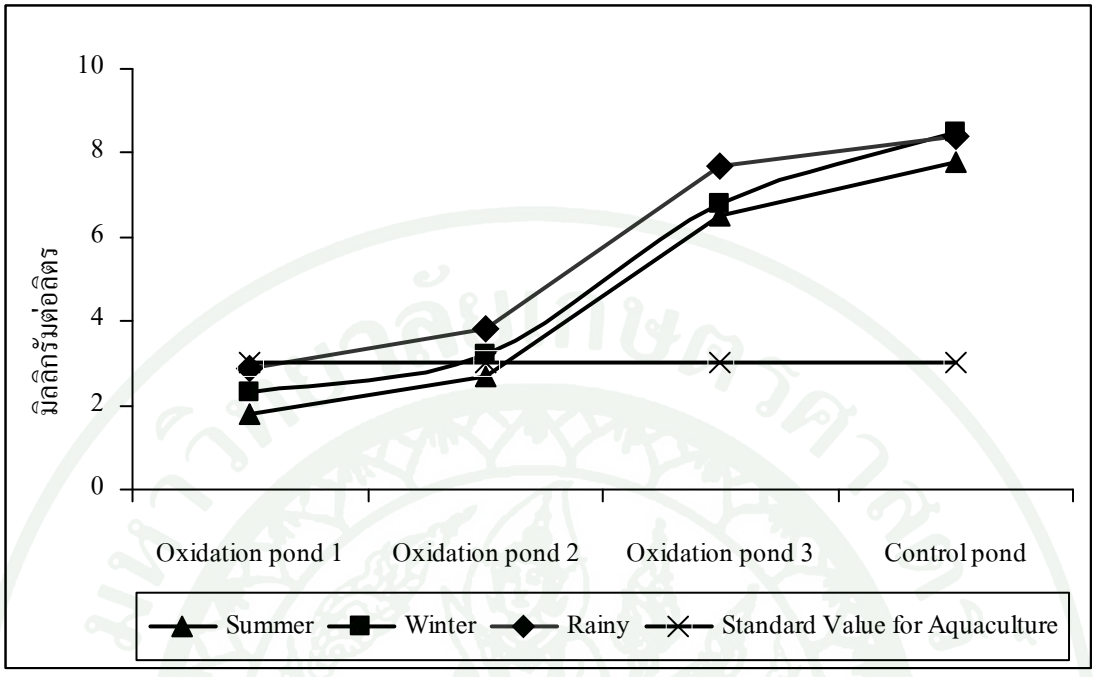
หน่วย : มิลลิกรัมต่อลิตร

Season	Oxidation pond 1	Oxidation pond 2	Oxidation pond 3	Control pond
Summer	1.8	2.7	6.5	7.8
Winter	2.3	3.2	6.8	8.5
Rainy	2.9	3.8	7.7	8.4

หมายเหตุ ค่ามาตรฐานออกซิเจนละลายที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำไม่ควรต่ำกว่า 3.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

การศึกษาครั้งนี้พบว่าในบ่อผึ่งที่ 1 ของทั้งสามฤดูกาลมีค่าออกซิเจนละลายในน้ำต่ำกว่า 3 มิลลิกรัมต่อลิตร จึงส่งผลต่อการอยู่อาศัยของปลานิล เนื่องจากน้ำเสียที่เข้าระบบบ่อผึ่งเป็นน้ำเสียชุมชนมีสารอินทรีย์สูง จุลินทรีย์มีการใช้ออกซิเจนละลายน้ำในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มากับในน้ำเสีย แต่ในระบบบ่อผึ่งมีแนวโน้มค่าออกซิเจนละลายน้ำที่สูงขึ้น เนื่องจากบ่อผึ่งมีการบำบัดโดยมีการเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลายน้ำจากแพลงค์ตอนพืชและการแลกเปลี่ยนจากออกซิเจนจากอากาศลงสู่น้ำโดยตรง การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำต้องให้ค่าออกซิเจนละลายน้ำมีค่าไม่ต่ำกว่า 3 มิลลิกรัมต่อลิตร หากต่ำกว่านี้จะก่อให้เกิดภาวะความเครียดได้ แต่หากมีความจำเป็นก็ควรให้ค่าออกซิเจนต่ำในช่วงระยะเวลาสั้นๆ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 15 ความสัมพันธ์ของออกซิเจนละลายน้ำของฤดูกาลต่างๆ

หมายเหตุ ค่ามาตรฐานออกซิเจนละลายที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำไม่ควรเกิน 3.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

1.3 ค่าความเป็นกรด-เบสในน้ำ

ตารางที่ 10 ค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำแต่ละฤดูกาล

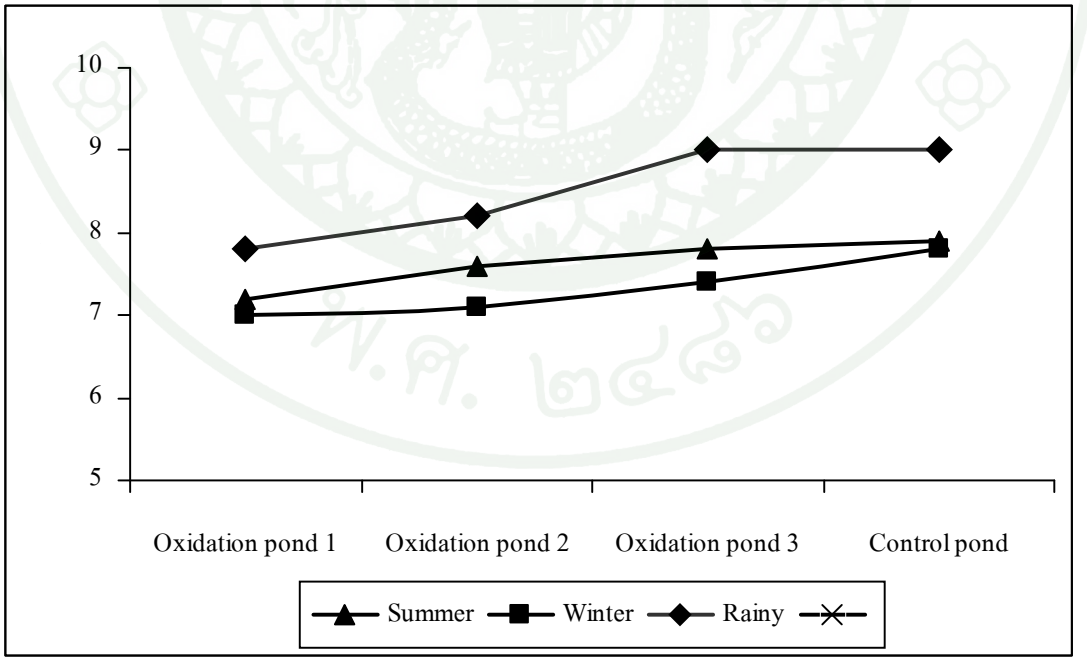
Season	Oxidation pond 1	Oxidation pond 2	Oxidation pond 3	Control pond
Summer	7.2	7.6	7.8	7.9
Winter	7.0	7.1	7.4	7.8
Rainy	7.8	8.2	9.0	9.0

หมายเหตุ ค่ามาตรฐานกรด-เบสที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอยู่ระหว่าง 6.5 ถึง 9.0

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ค่าความเป็นกร ด-เบสจะมีค่าต่ำในบ่อผึ่งที่ 1 และจะมีค่าสูงขึ้นในบ่อผึ่งที่ 2, 3 และ บ่อควบคุมตามลำดับ เนื่องจากในบ่อผึ่งที่ 1 มีปริมาณสารอินทรีย์ที่ต้องย่อยสลายมากที่สุด และลดน้อยลงในบ่อผึ่งที่ 2, 3 และ บ่อควบคุม ซึ่งในกระบวนการย่อยสลายดังกล่าวจะมีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้น ซึ่งเมื่อรวมตัวกับน้ำจะเกิดกรดอ่อน ทำให้ความเป็นกรด-เบสของน้ำลดต่ำลงได้ ค่าความเป็นกรด-เบสที่เหมาะสมต่อการอยู่อาศัยของปลานิลอยู่ระหว่าง 6.5-9.0 โดยในการศึกษานี้พบว่าค่าความเป็นกรด-เบสของทั้งบ่อผึ่ง 3 บ่อและบ่อควบคุมมีค่าที่อยู่ในมาตรฐาน แต่ในฤดูฝนนั้นในบ่อผึ่งที่ 3 และบ่อควบคุม มีค่าพีเอชเท่ากับ 9.0 พอดีซึ่งอาจส่งผลทำให้ความเป็นพิษของแอมโมเนียเพิ่มมากขึ้นได้

ค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำในบ่อผึ่งและบ่อควบคุมของแต่ละฤดูกาลมีปริมาณอยู่ในค่าความเป็นกรด-เบสที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ในฤดูฝนมีค่าความเป็นกรด-เบสสูง มาจากปริมาณแพลงค์ตอนที่มีมากจากปริมาณแอมโมเนียสูงซึ่งเป็นแหล่งอาหารของแพลงค์ตอน เมื่อมีแพลงค์ตอนอยู่มากมีการผลิตออกซิเจนละลายน้ำสูงขึ้นทำให้มีหมู่ไฮดรอกไซด์สูงขึ้นค่าความเป็นกรด-เบสจึงสูงขึ้นด้วย ส่วนในฤดูร้อนค่าความเป็นกรด-เบสปริมาณที่ต่ำลงมาจากปริมาณแพลงค์ตอนที่มีปริมาณน้อยลง และค่าความเป็นกรด-เบสมีค่าต่ำสุดในฤดูหนาว ดังตารางที่ 10 และภาพที่ 16



ภาพที่ 16 ความสัมพันธ์ของค่าความเป็นกรด-เบสในน้ำของแต่ละฤดูกาล

หมายเหตุ ค่ามาตรฐานกรด-เบสที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอยู่ระหว่าง 6.5 ถึง 9.0

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.4 ปริมาณไนเตรทไอออน

ปริมาณไนเตรทไอออนเมื่อผ่านแต่ละบ่อผึ่งแล้วมีปริมาณที่ลดลง โดยในฤดูฝนจะมีค่าไนเตรทสูงมากที่สุด รองลงมาคือฤดูร้อนและในฤดูฝน ตามลำดับ โดยในฤดูร้อนและฤดูหนาวนั้นในบ่อผึ่งที่ 3 และบ่อควบคุม มีปริมาณที่ต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่เหมาะสมในการเลี้ยงสัตว์น้ำ แต่ในฤดูฝนนั้นมีค่าไนเตรทที่สูงกว่าในฤดูอื่นดังตารางที่ 11 และภาพที่ 17

ตารางที่ 11 ปริมาณไนเตรทไอออนในน้ำของแต่ละฤดูกาล

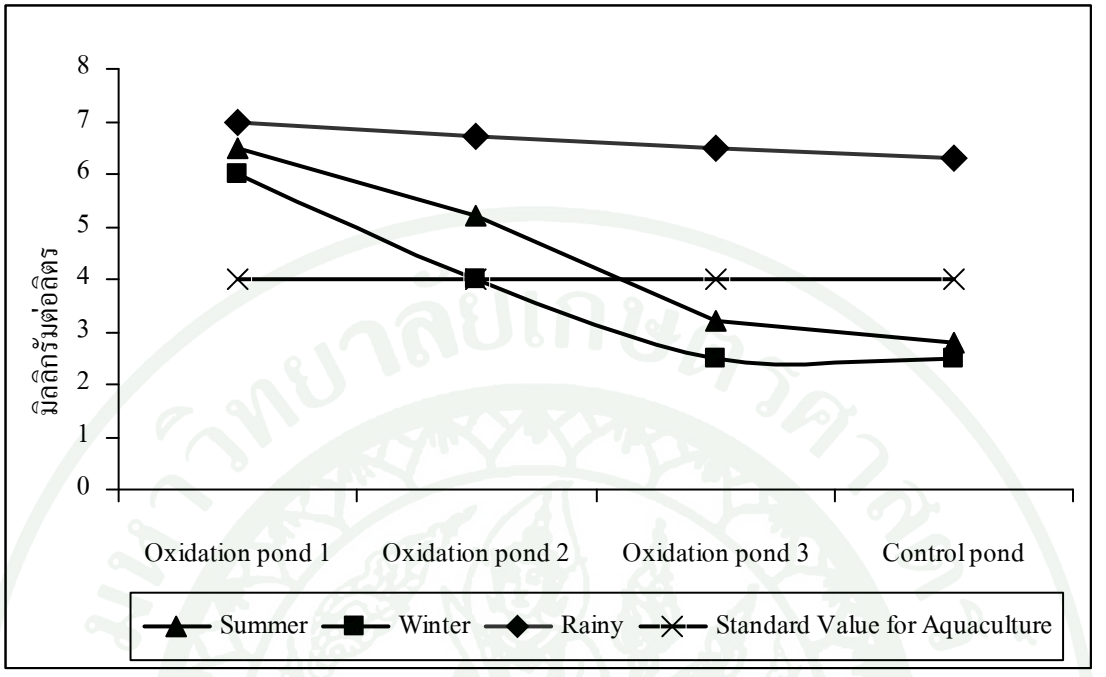
หน่วย : มิลลิกรัมต่อลิตร

Season	Oxidation pond 1	Oxidation pond 2	Oxidation pond 3	Control pond
Summer	6.5	5.2	3.2	2.8
Winter	6.0	4.0	2.5	2.5
Rainy	7.0	6.7	6.5	6.3

หมายเหตุ ค่ามาตรฐานไนเตรทที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำไม่ควรเกิน 4 มิลลิกรัมต่อลิตร

ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่สำคัญของพืชน้ำและแพลงค์ตอนพืช โดยในการศึกษาครั้งนี้พบว่าบ่อผึ่งที่ 1 มีปริมาณไนเตรทสูงมากตลอดทั้ง 3 ฤดูกาล ในฤดูฝนจะมีไนเตรทสูงมากกว่าค่าความเหมาะสมในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในทุกบ่อการทดลอง เนื่องมาจากสารอินทรีย์ที่มากับฝนที่มีการชะหน้าดิน ซึ่งส่งผลเสียต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำได้ ส่วนในฤดูร้อนและฤดูหนาว ในบ่อผึ่งที่ 2, 3 และบ่อควบคุมมีปริมาณที่เหมาะสม ซึ่งถ้ามีปริมาณไนเตรทที่น้อยเกินจะส่งผลต่อปริมาณแพลงค์ตอนพืชที่ทำให้มีน้อยตามและส่งผลต่อทำให้เกิดภาวะขาดแคลนออกซิเจนได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 17 แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณไนเตรทไอออนในน้ำของแต่ละฤดูกาล

หมายเหตุ ค่ามาตรฐานไนเตรทที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำไม่ควรเกิน 4 มิลลิกรัมต่อลิตร

1.5 อุณหภูมิ

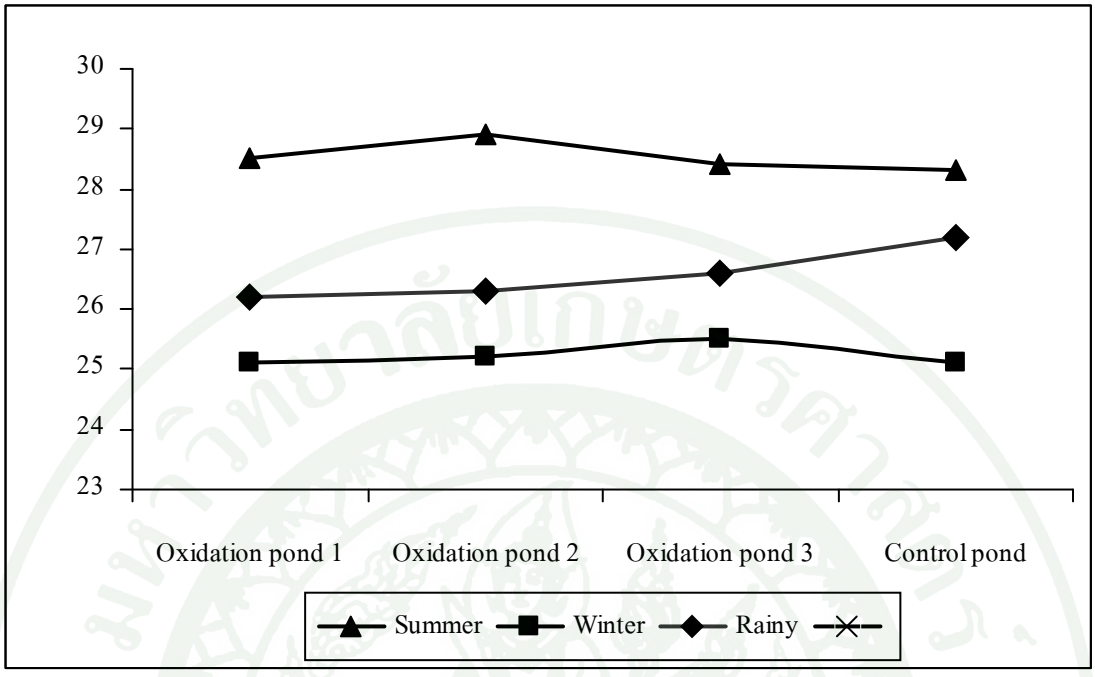
ตารางที่ 12 อุณหภูมิในน้ำที่ตรวจวัดได้ของแต่ละฤดูกาล

หน่วย องศาเซลเซียส

Season	Oxidation pond 1	Oxidation pond 2	Oxidation pond 3	Control pond
Summer	28.5	28.9	28.4	28.3
Winter	25.1	25.2	25.5	25.1
Rainy	26.2	26.3	26.6	27.2

หมายเหตุ ค่าอุณหภูมิมาตรฐานที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 23 ถึง 32 องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 18 อุณหภูมิของน้ำในแต่ละฤดูกาล

หมายเหตุ ค่ามาตรฐานอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 23 ถึง 32 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิน้ำในบ่อผึ่งทั้ง 4 บ่อ ใน 3 ฤดูกาลอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและอยู่อาศัยของปลานิล โดยอยู่ในช่วงระหว่าง 23-32 องศาเซลเซียส ดังนั้นในการทดลองนี้อุณหภูมิจึงไม่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของปลานิล แต่ส่งผลต่อการละลายน้ำของออกซิเจนในน้ำโดยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้ออกซิเจนละลายน้ำได้น้อยลง ในช่วงระหว่างฤดูกาลอุณหภูมิในทั้งสามฤดูกาลอยู่ในระดับที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยในฤดูหนาวมีอุณหภูมิที่ต่ำที่สุดและฤดูร้อนเป็นฤดูที่มีอุณหภูมิสูงที่สุดของสามฤดูกาล ในฤดูกาลเดียวกันจะมีอุณหภูมิที่ใกล้เคียง

1.6 ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (BOD)

ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (BOD) ในทุกฤดูกาลเมื่อผ่านบ่อผึ่งแต่ละบ่อจะมีความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (BOD) ที่ลดลงโดยทั้งสามฤดูกาลมีค่าที่ใกล้เคียงกันแต่ฤดูฝนจะมีค่าที่สูงที่สุดโดยบ่อควบคุมจะมีค่าใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานที่กำหนดดังตารางที่ 13 และภาพที่ 18

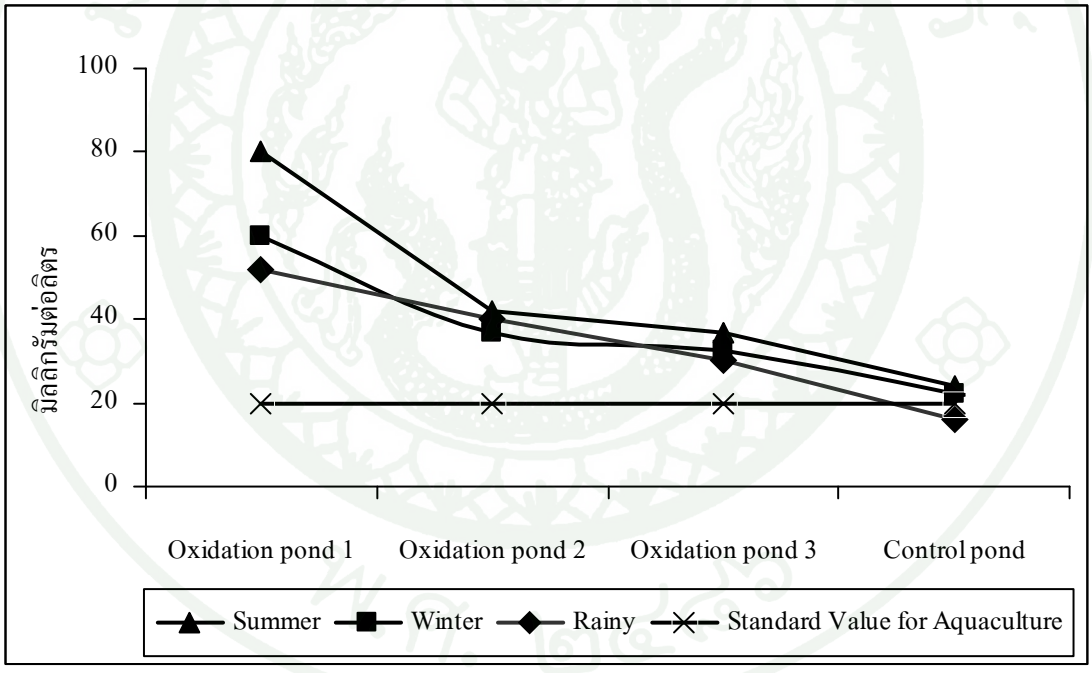
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 13 ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (BOD) ในแต่ละฤดูกาล

หน่วย : มิลลิกรัมต่อลิตร

Season	Oxidation pond 1	Oxidation pond 2	Oxidation pond 3	Control pond
Summer	80	42	37	24
Winter	60	36.8	32.4	22.4
Rainy	52	40	30	16

หมายเหตุ ค่ามาตรฐานความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (BOD) ที่เหมาะสมมีค่าต่ำกว่า 20 มิลลิกรัมต่อลิตร



ภาพที่ 19 ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (BOD)ในแต่ละฤดูกาล

หมายเหตุ ค่ามาตรฐานความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (BOD) ที่เหมาะสมมีค่าต่ำกว่า 20 มิลลิกรัมต่อลิตร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ในการศึกษาครั้งนี้พบว่า ฤดูฝนในบ่อผึ่งที่ 1 มีปริมาณบีโอดีที่สูงมากจนอาจเป็นอันตรายต่อปลานิลได้ ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (BOD) ไม่ควรเกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งก็มีค่าใกล้เคียงกับบ่อควบคุมทั้ง 3 ฤดูกาล ส่วนในบ่ออื่นๆมีค่าที่สูงเกินค่ามาตรฐานความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (BOD) ในทุกฤดูกาลเมื่อผ่านบ่อผึ่งแต่ละบ่อจะมีความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (BOD) ที่ลดลงโดยทั้งสามฤดูกาลมีค่าที่ใกล้เคียงกันแต่ฤดูฝนจะมีค่าที่สูงที่สุดโดยบ่อควบคุมจะมีค่าใกล้เคียงกับค่ามาตรฐาน การที่ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (BOD) มีปริมาณสูงจะมีความเสี่ยงต่อภาวะการขาดออกซิเจน วิรัช (2544) กล่าวว่า น้ำไม่ควรมีความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (BOD) เกิน 60 มิลลิกรัมต่อลิตร จะเสี่ยงต่อการทำให้สัตว์น้ำตายได้

2. ปริมาณโลหะหนัก

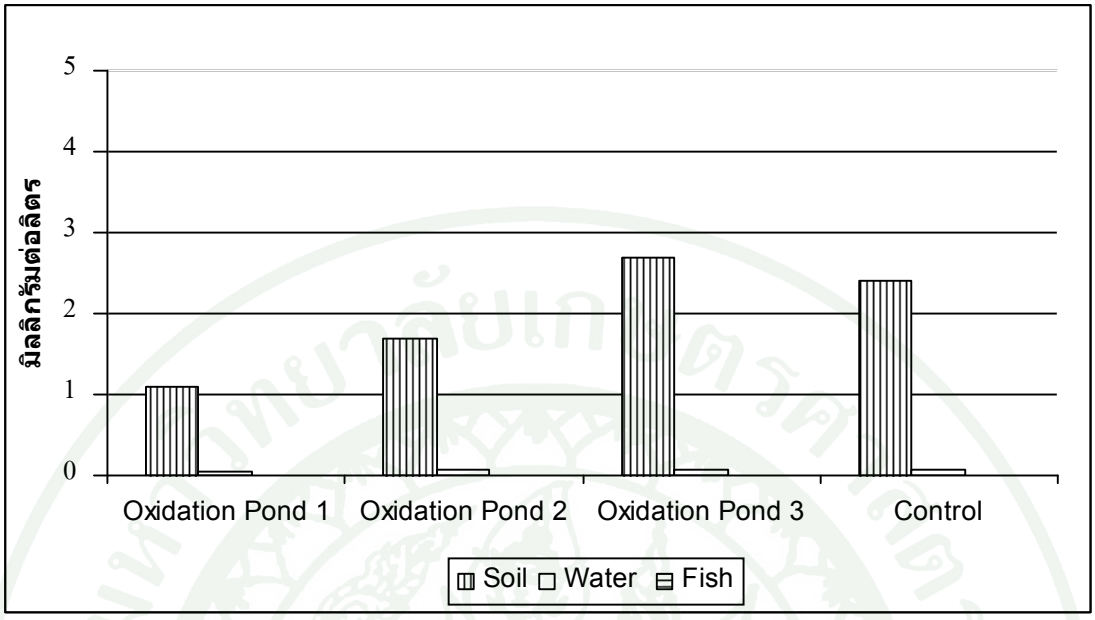
2.1 ปริมาณแคดเมียม

ตารางที่ 14 ปริมาณแคดเมียมที่ตรวจพบใน ดิน น้ำและเนื้อปลานิลในฤดูร้อน

หน่วย : มิลลิกรัมต่อลิตร

Sample	Oxidation Pond 1	Oxidation Pond 2	Oxidation Pond 3	Control
Soil	1.1000	1.7000	2.7000	2.4000
Water	0.0384	0.0616	0.0750	0.0784
Fish	0.0055	0.0065	0.0105	0.0110

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



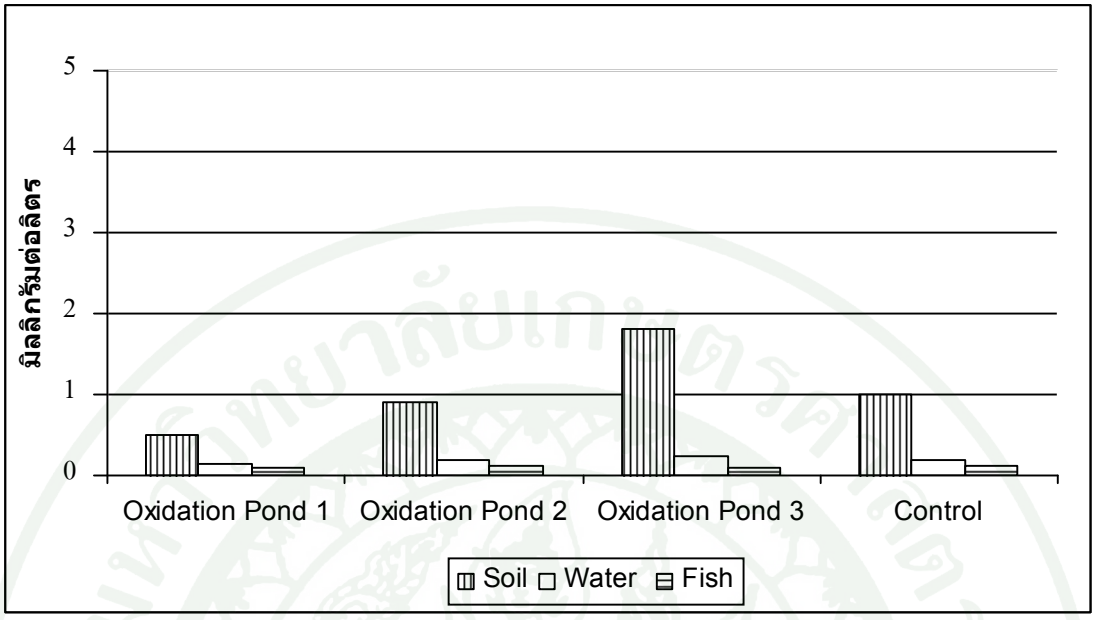
ภาพที่ 20 ปริมาณแคดเมียมระหว่างใน ดิน น้ำ และปลานิลในฤดูร้อน

ตารางที่ 15 ปริมาณแคดเมียมที่ตรวจพบใน ดิน น้ำและเนื้อปลานิลในฤดูหนาว

หน่วย : มิลลิกรัมต่อลิตร

Sample	Oxidation Pond 1	Oxidation Pond 2	Oxidation Pond 3	Control
Soil	0.5000	0.9000	1.8000	1.0000
Water	0.1376	0.1818	0.2280	0.2004
Fish	0.0950	0.1150	0.0900	0.1150

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



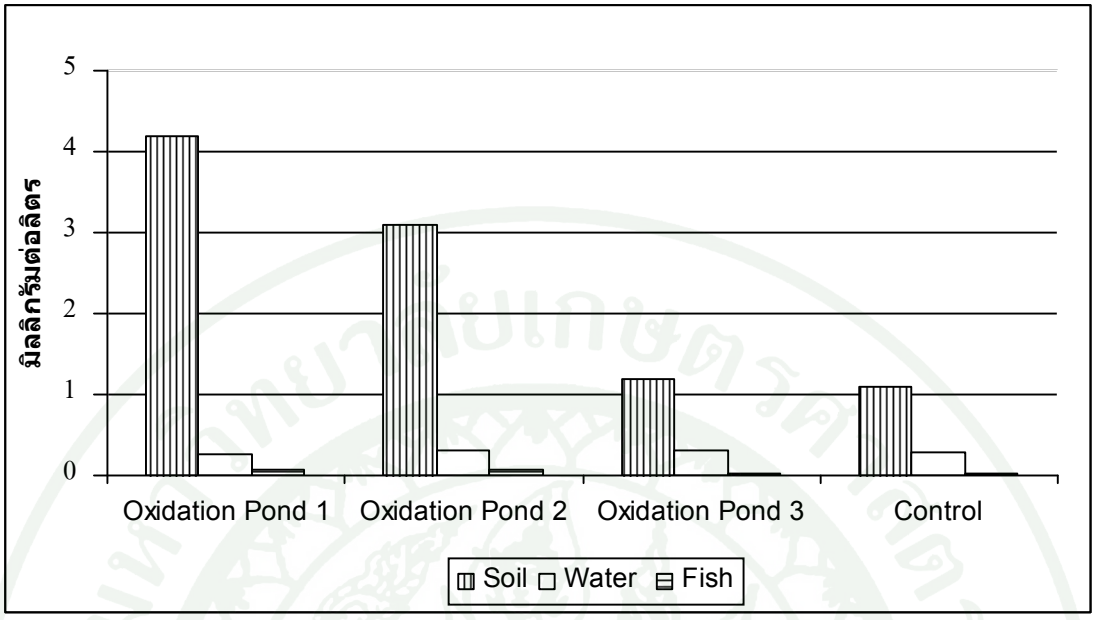
ภาพที่ 21 ปริมาณแคดเมียมระหว่างใน ดิน น้ำ และปลานิลในฤดูหนาว

ตารางที่ 16 ปริมาณแคดเมียมที่ตรวจพบใน ดิน น้ำและเนื้อปลานิลในฤดูฝน

หน่วย : มิลลิกรัมต่อลิตร

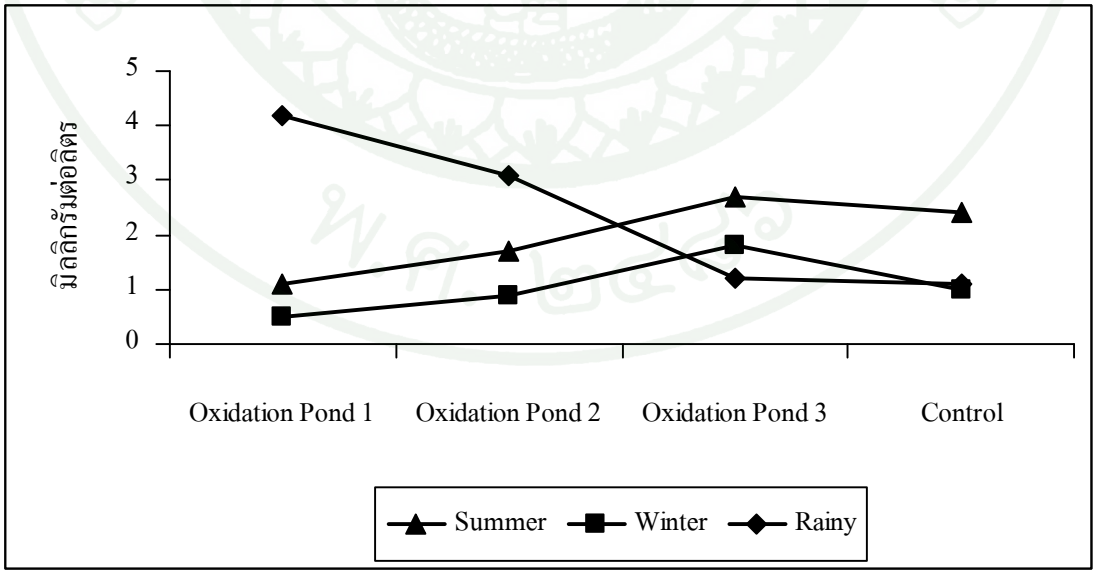
Sample	Oxidation Pond 1	Oxidation Pond 2	Oxidation Pond 3	Control
Soil	4.2000	3.1000	1.2000	1.1000
Water	0.2706	0.3036	0.3208	0.2748
Fish	0.0755	0.0705	0.0320	0.0295

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 22 ปริมาณแคดเมียมระหว่างในดิน น้ำ และปลานิลในฤดูฝน

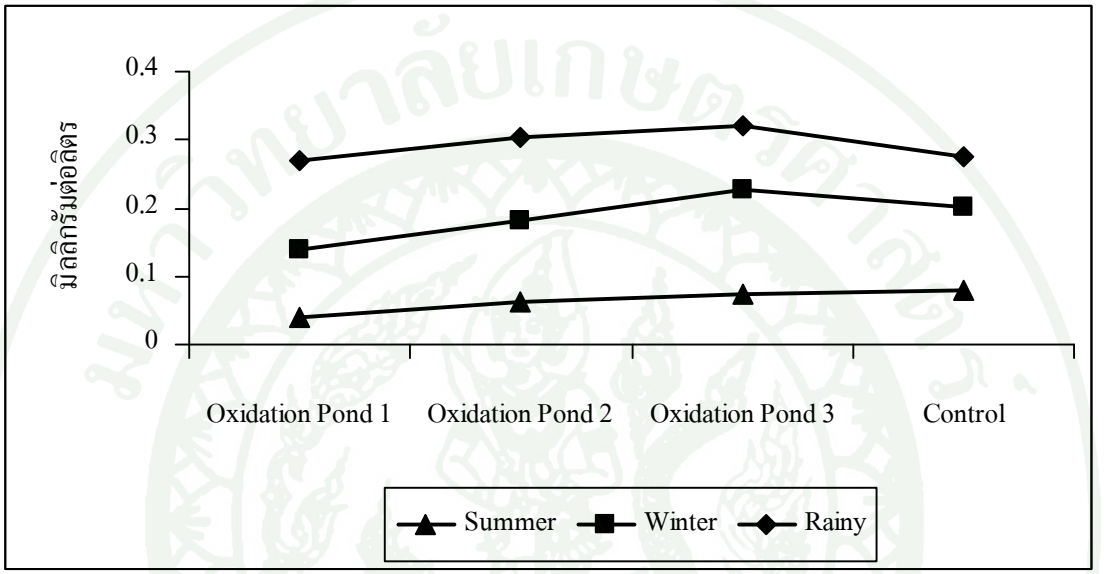
ปริมาณของแคดเมียมในดินในฤดูร้อนและฤดูหนาวมีปริมาณเพิ่มขึ้นแต่ในฤดูฝนจะมีปริมาณลดลงโดยในฤดูฝนบ่อผึ่งที่ 1 จะมีปริมาณแคดเมียมสูงที่สุด



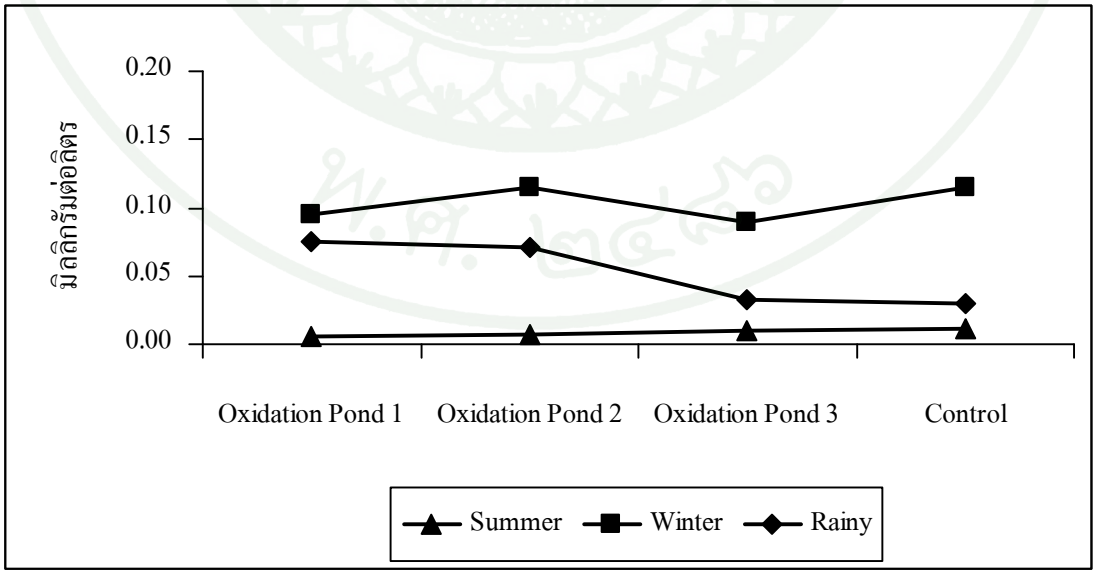
ภาพที่ 23 ปริมาณแคดเมียมที่สะสมใน ดินของฤดูกาลต่างๆ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปริมาณของแคดเมียมในน้ำของฤดูต่างๆมีแนวโน้มเหมือนกันโดยมีปริมาณแคดเมียมที่ใกล้เคียงกันในฤดูเดียวกัน โดยที่บ่อผึ่งที่ 3 ของทุกฤดูกาลจะมีปริมาณแคดเมียมที่มากกว่าบ่ออื่นแต่มากกว่าไม่มากนัก โดยฤดูฝนจะมีปริมาณแคดเมียมในน้ำที่มากที่สุด รองลงมาจะเป็นฤดูหนาวและจะมีปริมาณแคดเมียมน้อยที่สุดในฤดูร้อน



ภาพที่ 24 ปริมาณแคดเมียมที่สะสมในน้ำของแต่ละฤดูกาล



ภาพที่ 25 ปริมาณแคดเมียมที่สะสมในปลานิลของแต่ละฤดูกาลต่างๆ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปริมาณแคดเมียมในอวัยวะของปลานิลถูกตรวจพบในปริมาณที่น้อยเมื่อ เทียบกับโลหะหนักชนิดอื่น แต่เนื่องจากแคดเมียมมีความเป็นพิษสูง แม้จะได้รับเข้าสู่ร่างกายในปริมาณน้อยก็อาจก่อให้เกิดอันตรายได้ ดังนั้นหน่วยงานที่เกี่ยวข้องจึงกำหนดค่ามาตรฐานที่ยอมให้มีได้ในอาหาร ตั้งแต่ 0.05 -10 มิลลิกรัมต่อลิตร The Council for Mutual Economic Assistance กำหนดให้มีแคดเมียมได้ในผลิตภัณฑ์ปลาได้ไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม The National Health and Medical Research Council กำหนดให้มีได้ในกุ้ง กั้ง ปู ปลา และ ผลิตภัณฑ์ไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม The Tasmanian Public Health กำหนดให้มีได้ในอาหารไม่เกิน 5.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม The Canadian Food and Drug Directorate กำหนดให้มีได้ในอาหารไม่เกิน 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม วิลาวัลย์ (2542) ได้กล่าวไว้ว่าการได้รับแคดเมียมจากการกินอาหารเกินกว่า 15 มิลลิกรัมต่อลิตร จะก่อให้เกิดอาการของอาหารเป็นพิษ ได้แก่ คลื่นไส้ อาเจียน ปวดท้อง ท้องเสีย และอาจถึงแก่ชีวิตจากการสูญเสียน้ำและเกลือแร่จนช็อกหรือไตวายได้ โดยจากการวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมเฉลี่ยในกล้ามเนื้อปลานิลโตเต็มไว ปลานิลมีน้ำหนักเฉลี่ย 350-500 กรัม พบว่าทั้ง 4 บ่อ มีปริมาณแคดเมียมในกล้ามเนื้อเฉลี่ย ระหว่าง 0.0055-0.1400 mg/l ซึ่งขึ้นอยู่กับหน่วยงานกำหนดมาตรฐานด้วยว่าจะยินยอมให้มีมากน้อยเพียงใด ปลานิลที่นำมาทำการตรวจมีขนาดตัวที่มีขนาดใหญ่ ทำให้สัดส่วนของแคดเมียมที่สะสมมีขนาดลดลงซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ พรณิชา (2552) ซึ่งเมื่อปลามีน้ำหนักเฉลี่ยที่สูงขึ้นจะมีปริมาณแคดเมียมที่ลดลงจึงมีแนวโน้มว่าปลานิลที่มีขนาดใหญ่จะมีความปลอดภัยกว่าและสามารถนำมาบริโภคได้อย่างปลอดภัย มากกว่าปลานิลขนาดเล็ก และจากการทดลองพบว่า แคดเมียมจะสะสมในตะกอนดินสูงที่สุด รองลงมาคือสะสมอยู่ในน้ำและสะสมในเนื้อปลามีปริมาณน้อยที่สุดและจะสะสมน้อยที่สุดในปลาและในน้ำคือฤดูร้อน

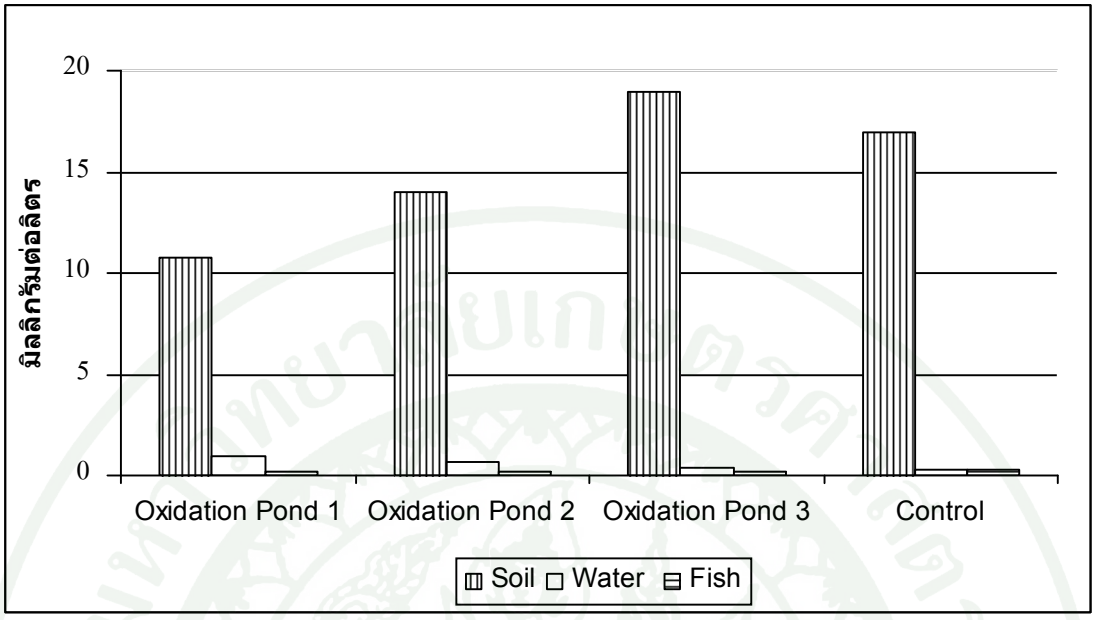
2.2 ปริมาณตะกั่ว

ตารางที่ 17 ปริมาณตะกั่วที่ตรวจพบในดิน น้ำและเนื้อปลานิลในฤดูร้อน

หน่วย : มิลลิกรัมต่อลิตร

Sample	Oxidation Pond 1	Oxidation Pond 2	Oxidation Pond 3	Control
Soil	10.8000	14.0000	19.0000	17.0000
Water	0.9822	0.6382	0.3784	0.2982
Fish	0.1620	0.2130	0.1980	0.2565

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



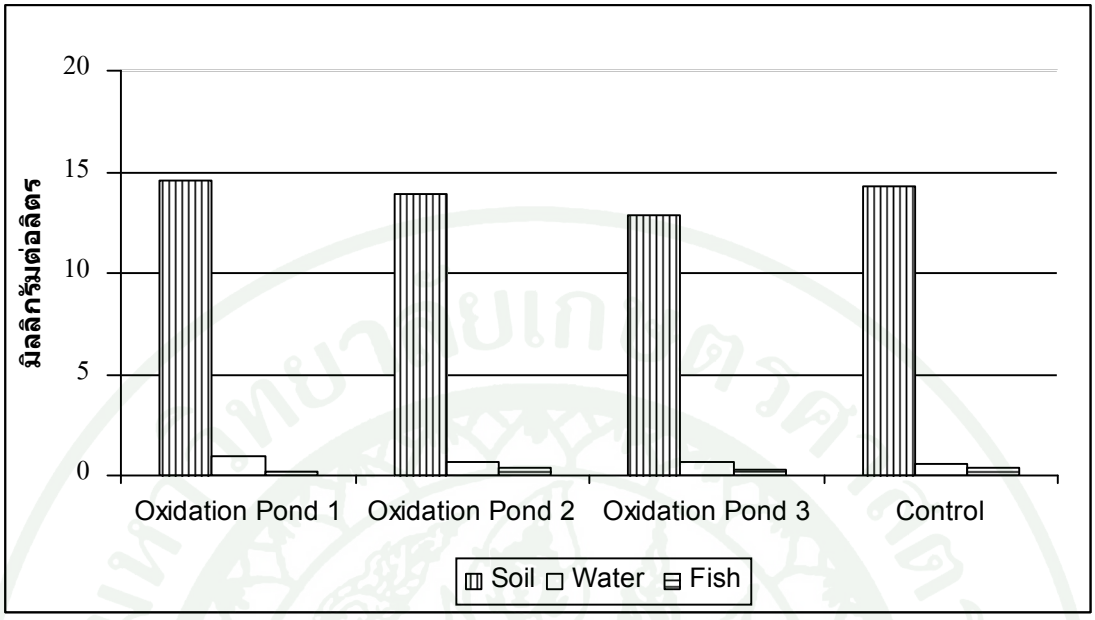
ภาพที่ 26 ปริมาณตะกั่วที่ตรวจพบระหว่างในดิน น้ำ และปลานิลในฤดูร้อน

ตารางที่ 18 ปริมาณตะกั่วที่ตรวจพบในดิน น้ำและเนื้อปลานิลในฤดูหนาว

หน่วย : มิลลิกรัมต่อลิตร

Sample	Oxidation Pond 1	Oxidation Pond 2	Oxidation Pond 3	Control
Soil	14.6000	13.9000	12.9000	14.3000
Water	0.9344	0.6994	0.7120	0.5784
Fish	0.2260	0.4070	0.2935	0.3375

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



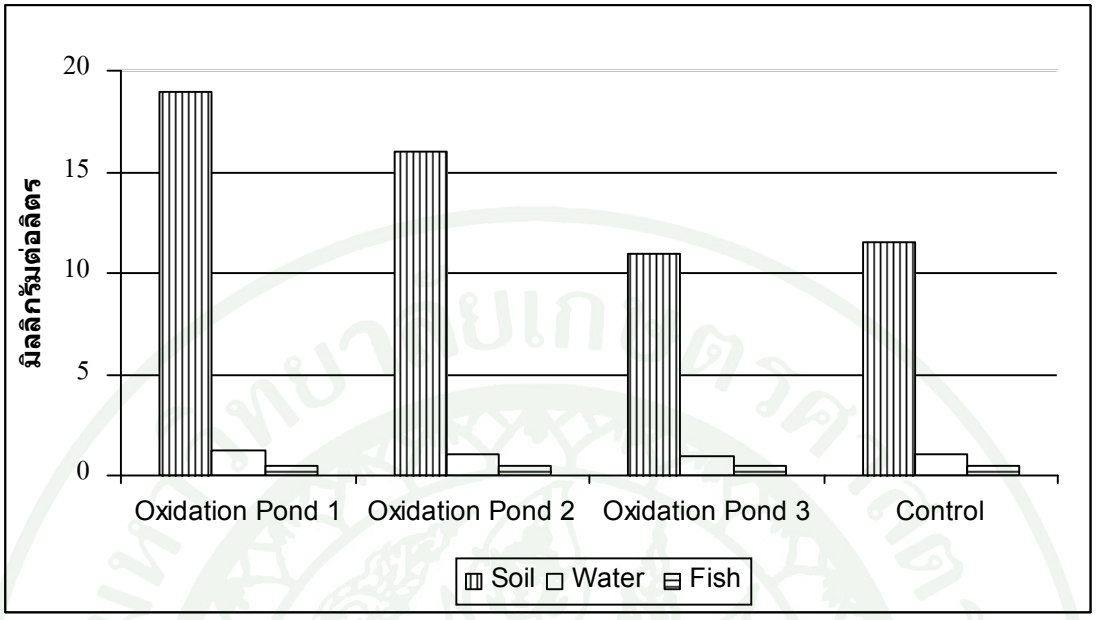
ภาพที่ 27 ปริมาณตะกั่วที่ตรวจพบระหว่างในดิน น้ำและปลานิลในฤดูหนาว

ตารางที่ 19 ปริมาณตะกั่วที่ตรวจพบในดิน น้ำและเนื้อปลานิลในฤดูฝน

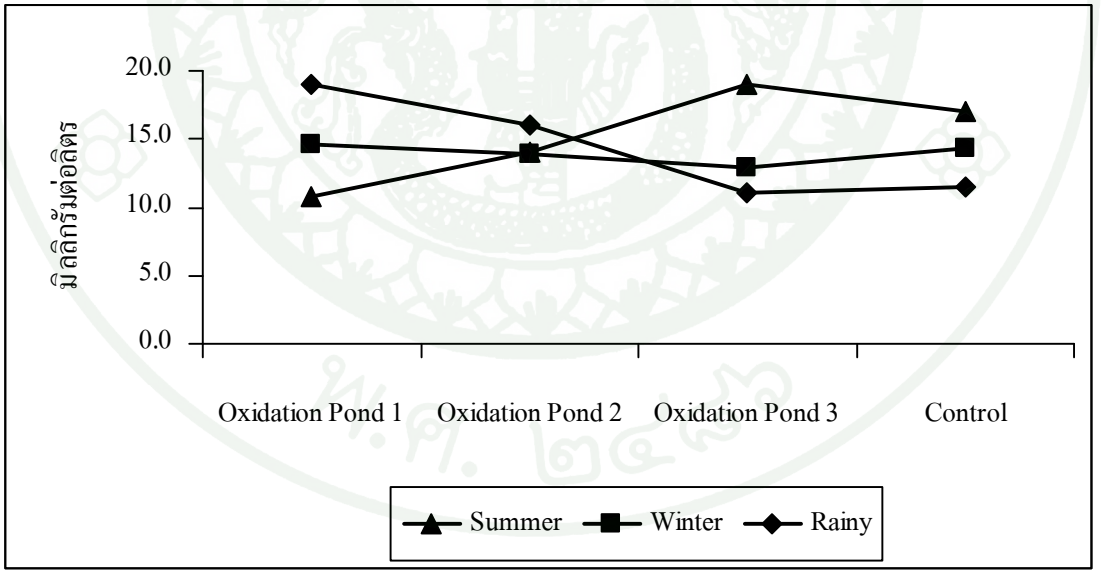
หน่วย : มิลลิกรัมต่อลิตร

Sample	Oxidation Pond 1	Oxidation Pond 2	Oxidation Pond 3	Control
Soil	19.0000	16.0000	11.0000	11.5000
Water	1.2062	1.0586	0.9680	1.0266
Fish	0.4780	0.4375	0.5160	0.4970

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



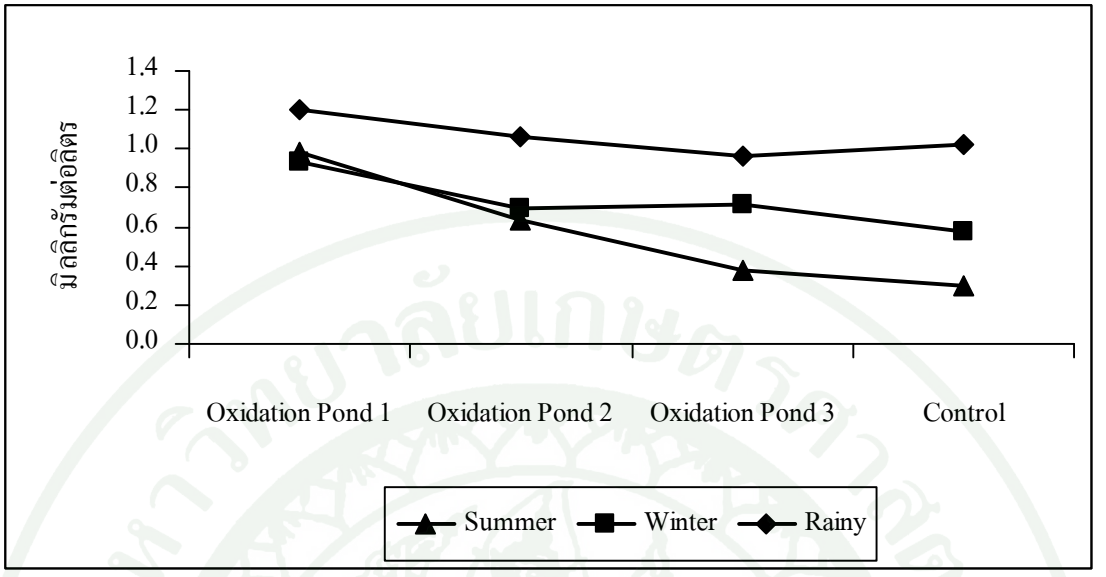
ภาพที่ 28 ปริมาณตะกั่วที่ตรวจพบระหว่างในดิน น้ำ และปลานิลในฤดูฝน



ภาพที่ 29 ปริมาณตะกั่วที่สะสมในดินของแต่ละฤดูกาล

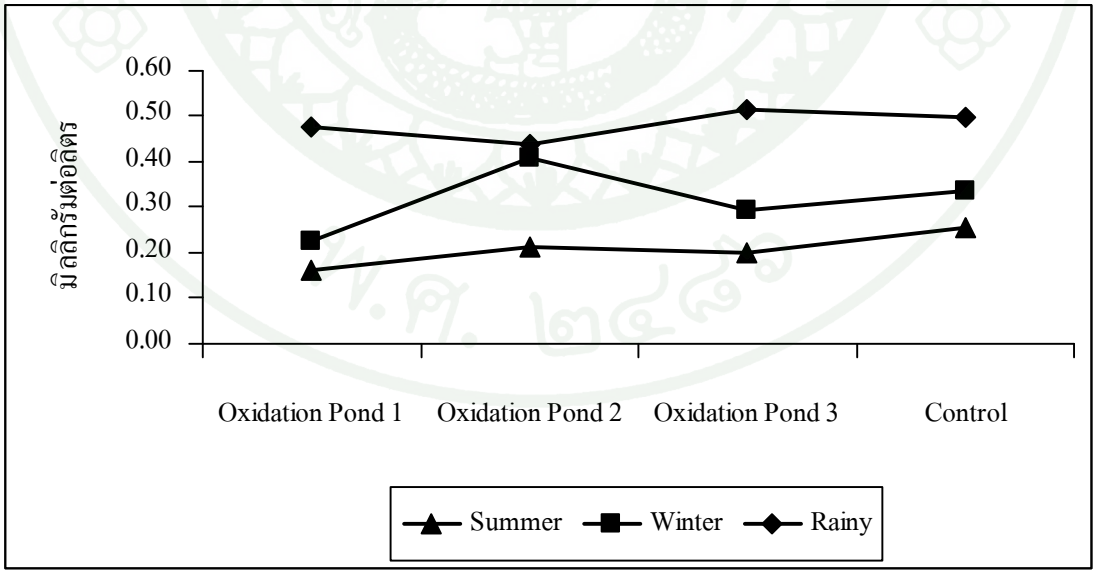
ปริมาณตะกั่วในดินในฤดูฝนมีปริมาณสูงในบ่อผึ่งที่ 1 และลดลงมาตามลำดับ แต่ในฤดูร้อนมีปริมาณตะกั่วในดินที่เพิ่มขึ้นในบ่อที่ 3 จะมีปริมาณสูงที่สุด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 30 ปริมาณตะกั่วที่สะสมในน้ำของแต่ละฤดูกาล

ปริมาณตะกั่วในน้ำมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆในบ่อผึ่งที่ต่อกันไปโดยในฤดูฝนจะมีปริมาณตะกั่วในน้ำที่มากที่สุด รองลงมาเป็นฤดูหนาว และฤดูร้อนมีปริมาณตะกั่วที่น้อยที่สุด



ภาพที่ 31 ปริมาณตะกั่วที่สะสมในปลานิลของแต่ละฤดูกาล

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปริมาณตะกั่วในปลานิลในฤดูกาลเดียวกันมีแนวโน้มใกล้เคียงกัน ในฤดูฝนมีปริมาณตะกั่วในปลานิลสูงมากที่สุด รองลงมาเป็นฤดูหนาวและฤดูร้อนมีปริมาณตะกั่วที่น้อยที่สุดโดยจากการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วเฉลี่ยในกล้ามเนื้อปลานิลโตเต็มไวที่มีน้ำหนักเฉลี่ย 350-500 กรัม พบว่าทั้ง 4 บ่อ มีปริมาณตะกั่วในกล้ามเนื้อเฉลี่ย ระหว่าง 0.1620-0.5160 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งไม่เกินกว่าค่ามาตรฐานของกระทรวงสาธารณสุข กำหนดไว้ คือไม่เกิน 1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (เนื้อปลาสด) ผลจากการทดลองมีค่าไม่เกินมาตรฐานกระทรวงสาธารณสุข อาจเนื่องมาจากปลานิลที่นำมาทำการตรวจมีขนาดตัวที่มีขนาดใหญ่ ทำให้สัดส่วนของตะกั่วที่สะสมมีขนาดลดลงซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ พรณิชา (2552) ซึ่งเมื่อปลามีน้ำหนักเฉลี่ยที่สูงขึ้นจะมีปริมาณตะกั่วที่ลดลง ปริมาณตะกั่วในเนื้อปลาและในน้ำนั้นจะมีค่าสูงสุดในฤดูฝนและมีค่าต่ำสุดในฤดูร้อน

3. ค่าโลหิตวิทยาและค่าเคมีโลหิตในปลานิล

3.1 จำนวนเม็ดเลือดแดงในปลานิล

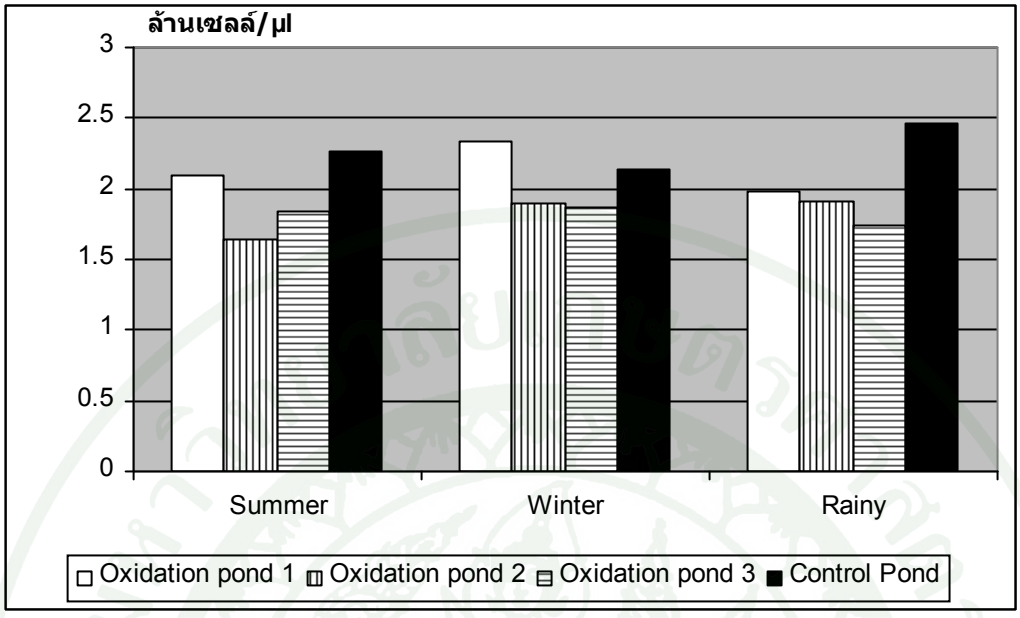
ตารางที่ 20 จำนวนเม็ดเลือดแดงของปลานิลที่ตรวจพบของแต่ละฤดูกาล

หน่วย : ล้านเซลล์ต่อไมโครลิตร

Season	Oxidation pond 1	Oxidation pond 2	Oxidation pond 3	Control pond
Summer	2.098 ± 0.281^{a}	1.640 ± 0.465^{b}	1.833 ± 0.525^{b}	2.269 ± 0.137^{a}
Winter	2.331 ± 0.482^{a}	1.892 ± 0.508^{b}	1.872 ± 0.221^{b}	2.136 ± 0.412^{a}
Rainy	1.983 ± 0.764^{a}	1.913 ± 0.644^{a}	1.240 ± 0.241^{b}	2.459 ± 0.305^{c}

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยแถวเดียวกันมีค่าซุปเปอร์สคลิปเดียวกันมีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$).

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 32 ค่าเฉลี่ยจำนวนเม็ดเลือดแดง (ล้านเซลล์ต่อไมโครลิตร) ของปลานิลเปรียบเทียบแต่ละกลุ่มภายในฤดูกาลเดียวกัน

จากการทดลองนี้พบว่า ทั้ง 3 ฤดูกาลในบ่อผึ่งที่ 1 และบ่อควบคุมมีจำนวนเม็ดเลือดแดงใกล้เคียงกัน แต่ในบ่อผึ่งที่ 2 และบ่อผึ่งที่ 3 มีปริมาณที่ต่ำกว่าปกติ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Chen (2004) และ Abdel-Tawwab *et al.* (2007) พบจำนวนเม็ดเลือดแดงในกลุ่มควบคุมของปลานิลมีค่า 2.29 และ 2.14 ล้านเซลล์ต่อไมโครลิตร ตามลำดับ Chen (2004) พบว่าในกลุ่มทดลองที่ให้มีการติดเชื้อ *V. vulnificus* และ *S. iniae* ในกลุ่มทดลองมีค่าเม็ดเลือดแดงที่ต่ำกว่ากลุ่มควบคุม Mohsen *et al.* (2007) พบว่าเมื่อมีผลกระทบจากสิ่งแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมจากทองแดงซึ่งทำให้เกิดภาวะความเครียดจะทำให้จำนวนเม็ดเลือดแดงลดลงได้ Chen (2004) กล่าวว่าจำนวนเม็ดเลือดแดงที่ทำหน้าที่การขนส่งออกซิเจนในร่างกายมีค่าต่ำกว่าปกติ แสดงว่าปลาอาจอยู่ในภาวะผิดปกติหรือเป็นโรคได้ ดังนั้นในบ่อผึ่งที่ 2 และ 3 มีค่าที่ต่ำกว่ามาจากการที่ปลานิลยังไม่สามารถปรับสภาพร่างกายกับน้ำเสีย แต่ปลานิลในบ่อผึ่งที่ 1 มีการปรับสภาพร่างกายให้สามารถอาศัยในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมได้ดีกว่าปลานิลที่อาศัยในบ่อผึ่งที่ 2 และ3

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

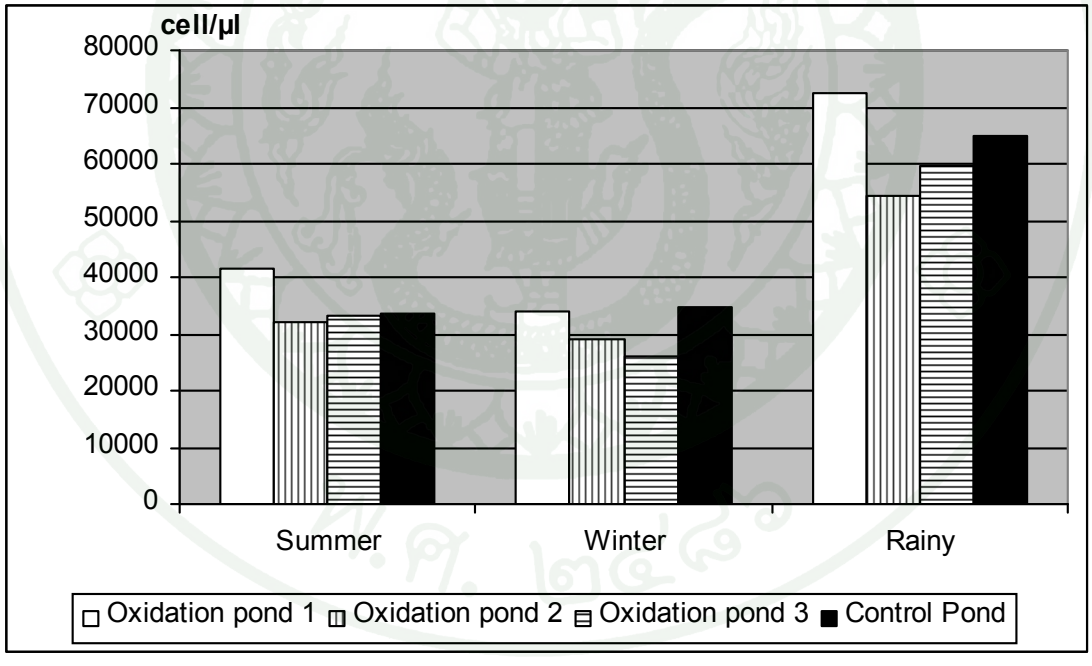
3.2 จำนวนเม็ดเลือดขาวของปลานิล

ตารางที่ 21 จำนวนเม็ดเลือดขาวของปลานิลในแต่ละฤดูกาล

หน่วย : เซลล์ต่อไมโครลิตร

Season	Oxidation pond 1	Oxidation pond 2	Oxidation pond 3	Control pond
Summer	41400 ± 2963[a]	32100 ± 1669[b]	33300 ± 4667[b]	33600 ± 2565[b]
Winter	34100 ± 7267[a]	29000 ± 2190[b]	25900 ± 5526[b]	34900 ± 6311[a]
Rainy	72400 ± 10036[a]	54400 ± 9787[b]	59700 ± 4921[b]	64900 ± 5097[c]

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยแถวเดียวกันมีค่าซุปเปอร์สคลิปเดียวกันมีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P > 0.05).



ภาพที่ 33 ค่าเฉลี่ยจำนวนเม็ดเลือดขาว (เซลล์ต่อไมโครลิตร) ของปลานิลเปรียบเทียบแต่ละบ่อทดลองในฤดูกาลเดียวกัน

จากการศึกษาครั้งนี้พบว่า จำนวนเม็ดเลือดขาวระหว่างบ่อของทั้งสามฤดูกาล มีจำนวนเม็ดเลือดขาวปลาในบ่อที่ 1 สูงที่สุด แต่ในบ่อที่ 2 3 และบ่อควบคุมไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้นในฤดูฝนที่บ่อควบคุมมีปริมาณที่สูงกว่าในปลาในบ่อผึ่งที่ 2 และ 3 และในฤดูฝนนั้นจำนวนเม็ด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เลือดขาวจะสูงกว่าในฤดูร้อนและฤดูหนาว ในทุกบ่อการทดลอง จึงมีแนวโน้มว่าในฤดูฝนนั้นจะมีปรสิตทั้งภายในและภายนอกซึ่งส่งผลต่อสุขภาพปลานิลได้มากกว่าฤดูกาลอื่นๆ โดยเม็ดเลือดขาวเป็นส่วนสำคัญที่ช่วยบ่งชี้ถึงภาวะการเกิดโรคในสิ่งมีชีวิต ถ้าเม็ดเลือดขาวมีปริมาณสูงก็จะบอกได้ถึงความรุนแรงของโรคได้ตามปริมาณจำนวนเม็ดเลือดขาวที่เพิ่มขึ้น จำนวนเม็ดเลือดขาวสามารถบ่งชี้ได้ถึงภาวะของปลานิลนั้นๆ เนื่องจากในฤดูฝนน้ำในบ่อผึ่งแต่ละบ่อถูกกักเก็บในระยะเวลาสั้นกว่าในฤดูอื่นทำให้การบำบัดเชื้อโรค จากแสงอาทิตย์ได้น้อยลง ในการทดลองนี้จำนวนเม็ดเลือดขาวมีค่าใกล้เคียงกับรายงานของ Thomas (2007) ซึ่งได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบค่าเคมีของเลือดระหว่างปลานิลกลุ่มควบคุมกับปลานิลที่ให้อาหารที่มี lactoferrin ของวัวที่ปริมาณแตกต่างกัน พบว่า ปลานิลกลุ่มควบคุมมีจำนวนเม็ดเลือดขาว 33,200 ± 5400 เซลล์ต่อไมโครลิตรส่วนในฤดูฝนมีค่าที่สูงกว่า ซึ่งเกิดได้จากภาวะการติดเชื้อ หรือภาวะการอักเสบต่างๆของตัวปลา

3.3 ค่าเม็ดเลือดแดงอัดแน่นของปลานิล

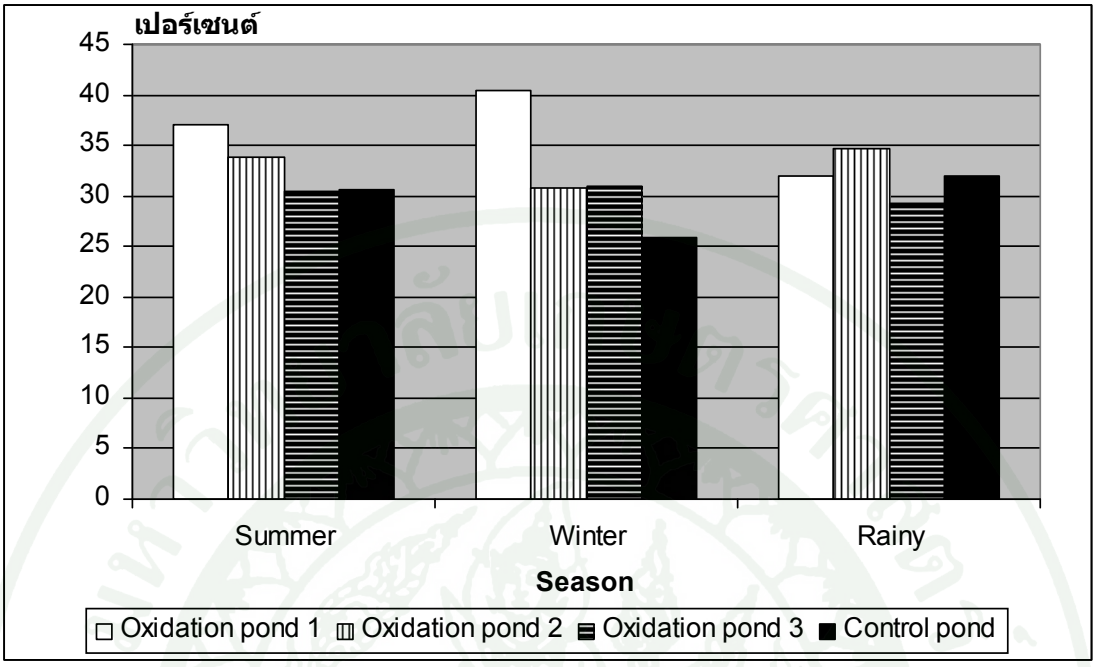
ตารางที่ 22 ค่าเม็ดเลือดแดงอัดแน่นในแต่ละฤดูกาล

หน่วย : ร้อยละ

Season	Oxidation pond 1	Oxidation pond 2	Oxidation pond 3	Control pond
Summer	37.0 ± 4.83^{a}	33.8 ± 1.39^{b}	30.5 ± 2.17^{c}	30.6 ± 1.51^{c}
Winter	40.4 ± 4.20^{a}	30.8 ± 8.23^{b}	30.9 ± 5.74^{b}	25.9 ± 4.56^{b}
Rainy	32.0 ± 3.43^{ab}	34.7 ± 2.75^{a}	29.2 ± 4.13^{b}	31.9 ± 3.07^{ab}

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยแถวเดียวกันมีค่าซุปเปอร์สคลิปเดียวกันมีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$).

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 34 ค่าเฉลี่ยเม็ดเลือดแดงอัดแน่น (ร้อยละ) ของปลานิลเปรียบเทียบแต่ละกลุ่มภายในฤดูกาลเดียวกัน

จากการศึกษาค่าเฉลี่ยเม็ดเลือดแดงอัดแน่นระหว่างบ่อของทั้งสามฤดูกาล ฤดูร้อนนั้นในปลาในกลุ่มที่ 3 กับกลุ่มควบคุมไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ แต่ทั้ง 2 กลุ่มมีค่าเฉลี่ยลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับปลาในกลุ่มที่ 1 และ กลุ่มที่ 2 ฤดูหนาว ปลานิลในกลุ่มที่ 1 มีค่าเม็ดเลือดแดงอัดแน่นเฉลี่ยสูงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับปลาในกลุ่มอื่นๆ และฤดูฝนกลุ่มที่ 1 กับกลุ่มควบคุมค่าเม็ดเลือดแดงอัดแน่นจะไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ แต่ในกลุ่มที่ 2 จะมีค่าสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญกับกลุ่มควบคุมและ กลุ่มที่ 3 มีค่าเฉลี่ยเม็ดเลือดแดงอัดแน่นต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญกับกลุ่มควบคุม ทั้ง 3 ฤดูกาลในการทดลองนี้มีค่าใกล้เคียงกับรายงานของ Chen *et al.* (2004) ซึ่งได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบค่าเคมีของเลือดระหว่างปลานิลกลุ่มควบคุมกับปลานิลที่ติดเชื้อ *Streptococcus iniae* และกับปลานิลที่ได้รับคาร์บอนเตตระคลอไรด์ (carbon tetrachloride) และได้รับเจนต้ามายซินพบว่า ปลานิลกลุ่มควบคุมมีค่าเม็ดเลือดแดงอัดแน่นร้อยละ 36.60 ปลานิลที่ติดเชื้อมีค่าเม็ดเลือดแดงอัดแน่นร้อยละ 20.60 และปลานิลที่ได้รับสารเคมีมีค่าเม็ดเลือดแดงอัดแน่นร้อยละ 22.30 และ 26.70 ตามลำดับ แสดงว่าสภาวะที่ปลานิลได้รับในการทดลองข้างต้นทำให้ค่าเม็ดเลือดแดงอัดแน่นลดต่ำกว่าปกติ แต่การทดลองนี้มีค่าเม็ดเลือดแดงอัดแน่นสูงกว่าในรายงานของ Sun *et al.* (1995) ซึ่งได้รายงานค่าเม็ดเลือดแดงอัดแน่นของปลานิลซึ่งเลี้ยงที่ความเค็ม 0 ส่วนในล้านส่วน อุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียส มีค่าร้อยละ 28.40 และ Peres *et al.* (2004) ได้รายงานค่า

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เม็ดเลือดแดงอัดแน่นของปลานิลอยู่ที่มีค่าร้อยละ 28.60 ซึ่งต่ำกว่าค่าจากการทดลองแต่ก็อยู่ในช่วงที่พบได้และ Chen *et al.* (2004) ได้รายงานว่าค่าเม็ดเลือดแดงอัดแน่นจะแสดงถึงสุขภาพของปลาและการขนส่งออกซิเจนในร่างกาย ถ้าหากพบว่ามีค่าต่ำกว่าปกติ แสดงว่าปลาอาจอยู่ในภาวะผิดปกติหรือเป็นโรคได้ เช่น เป็นโรคโลหิตจาง มีการติดเชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นพิษ หรือผลจากสารเคมีที่เป็นพิษบางชนิด เป็นต้น ส่วนค่าเม็ดเลือดแดงอัดแน่นที่สูงกว่าปกตินั้นแสดงถึงภาวะที่มีออกซิเจนละลายน้ำไม่เพียงพอทำให้ร่างกายปลามีการผลิตเม็ดเลือดแดงเพิ่มขึ้น

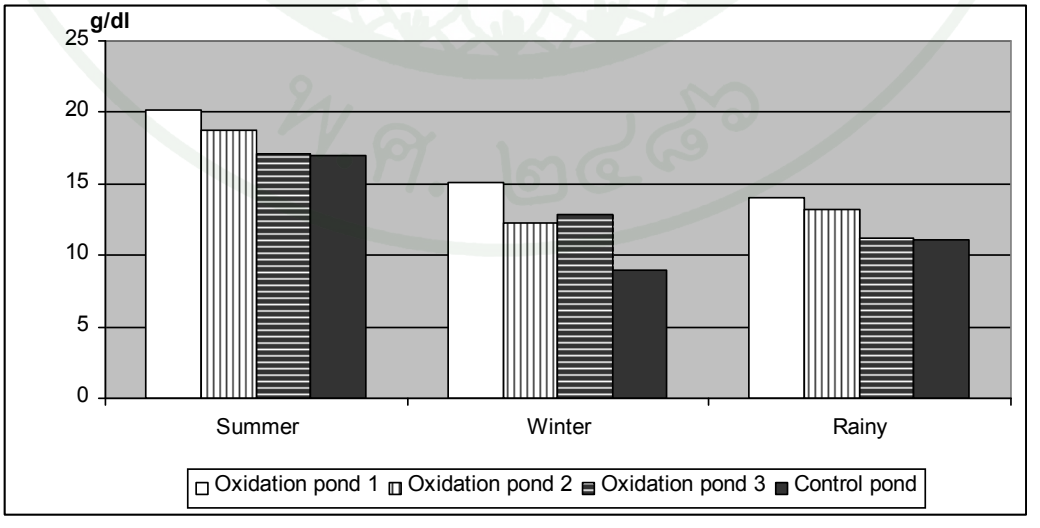
3.4 ความเข้มข้นของฮีโมโกลบิน

ตารางที่ 23 ความเข้มข้นของฮีโมโกลบินในแต่ละฤดูกาล

หน่วย : กรัมต่อเดซิลิตร

Season	Oxidation Pond 1	Oxidation Pond 2	Oxidation Pond 3	Control
Summer	20.11 ± 3.95^{a}	18.73 ± 2.30^{b}	17.11 ± 2.15^{b}	16.94 ± 1.95^{b}
Winter	15.08 ± 2.83^{a}	12.26 ± 3.28^{a}	12.80 ± 3.56^{a}	8.92 ± 2.42^{b}
Rainy	13.98 ± 3.26	13.19 ± 4.94	11.25 ± 2.24	11.14 ± 2.45

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยแถวเดียวกันมีค่าซุปเปอร์สคลิปเดียวกันมีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$).



ภาพที่ 35 ค่าความเข้มข้นของฮีโมโกลบิน ของปลานิลเปรียบเทียบแต่ละกลุ่มภายในฤดูกาลเดียวกัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การศึกษาความเข้มข้นของฮีโมโกลบินของปลานิลกลุ่มควบคุมทั้ง 4 กลุ่ม มีค่าอยู่ในช่วง 10 ถึง 20 กรัมต่อเดซิลิตร ความเข้มข้นของฮีโมโกลบินมีค่าสูงกว่ารายงานของ Sun (1995) ซึ่งได้รายงานค่าความเข้มข้นของฮีโมโกลบินของปลานิลอยู่ที่ 7.20 กรัมต่อเดซิลิตรและ Peres *et al*. (2004) ได้รายงานค่าความเข้มข้นของฮีโมโกลบินของปลานิลอยู่ที่ 9.40 กรัมต่อเดซิลิตร มีค่าที่สูงขึ้น Benfey and Biron (2000) กล่าวว่าความเครียดแบบเฉียบพลันมีผลทำให้ค่าเม็ดเลือดแดงอัดแน่นเพิ่มขึ้นในปลา rainbow trout และ brook trout โดยอาจมีสาเหตุจากพลาสมามีปริมาตรลดลง เม็ดเลือดแดงมีขนาดใหญ่ขึ้น หรือเกิดจากการปล่อยเม็ดเลือดแดงออกสู่กระแสเลือดมากขึ้น Ewing (1999) รายงานว่าเมื่อสัตว์อยู่ในสภาวะเครียด ม้ามจะปล่อยเม็ดเลือดแดงออกสู่กระแสเลือดมากกว่าปกติ เพื่อเพิ่มการขนส่งออกซิเจนและมีการขยายตัวของเส้นเลือด (vasodilation) ทำให้การไหลเวียนของเลือดและการขนส่งออกซิเจนดีขึ้น นอกจากนี้ยังควบคุมอุณหภูมิและสมดุลกรดเบสภายในร่างกายให้เป็นปกติด้วย การเพิ่มของค่าเม็ดเลือดแดงอัดแน่นในปลาสามารถเกิดได้จากหลายสาเหตุดังการทดลองต่อไปนี้ Waiwood (1980) ทดลองแช่ปลา rainbow trout ในสารละลายทองแดง พบว่าน้ำในพลาสมาถูกดึงเข้าไปในเซลล์กล้ามเนื้อ ทำให้มีปริมาณพลาสมาลดลง ค่าเม็ดเลือดแดงอัดแน่นจึงสูงขึ้น Casillas and Smith (1977) รายงานว่าปลา rainbow trout มีความเครียดจากการถูกจับก็สามารถทำให้ค่าเม็ดเลือดแดงอัดแน่นเพิ่มขึ้นได้ การทดลองให้ปลาขาดออกซิเจน (hypoxia) พบว่าเซลล์เม็ดเลือดแดงบวม เป็นเหตุให้ค่าเม็ดเลือดแดงอัดแน่นเพิ่มขึ้น (Soivio *et al*., 1973) ส่วน McCloskey and Oris (1993) ทดลองแช่ปลา bluegill sunfish (*Lepomis macrochirus*) ใน anthracene เป็นเวลา 96 ชั่วโมง พบว่าค่าเม็ดเลือดแดงอัดแน่นเพิ่มขึ้นอาจมีสาเหตุจากการกระตุ้นให้สร้างเม็ดเลือดแดงเพิ่มขึ้น หรือมีการบวมน้ำของเม็ดเลือดแดงฮีโมโกลบิน เป็นโปรตีนที่เกาะอยู่บริเวณเยื่อหุ้มเซลล์ของเม็ดเลือดแดง มีหน้าที่ลำเลียงออกซิเจน ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับฮีโมโกลบินในเม็ดเลือดแดงเป็นออกซีฮีโมโกลบิน (oxyhaemoglobin) ปริมาณฮีโมโกลบินในปลาจะแตกต่างกันไป ตามชนิด ลักษณะนิสัย ภูมิอากาศสภาพแวดล้อม ฤดูกาล และความแตกต่างระหว่างเพศ ค่าฮีโมโกลบินเป็นค่าพื้นฐานที่ถูกนำมาใช้เพื่อเป็นเครื่องชี้วัดการเกิดภาวะเลือดจางในปลาหลายชนิดด้วย (Mulcahy, 1970)

เมื่อพิจารณาค่าเม็ดเลือดแดงอัดแน่นและค่าความเข้มข้นของฮีโมโกลบินของปลานิล พบว่าค่าทั้ง 2 จะมีความสัมพันธ์กัน คือ ถ้าวิเคราะห์ค่าเม็ดเลือดแดงอัดแน่นได้สูงค่าความเข้มข้นของฮีโมโกลบินก็จะสูงด้วยและในทางกลับกันถ้าวิเคราะห์ค่าเม็ดเลือดแดงอัดแน่นได้ต่ำค่าความเข้มข้นของฮีโมโกลบินก็จะต่ำด้วย เช่น กรณีจากผลการทดลอง ปลานิลมีค่าเม็ดเลือดแดงอัดแน่นเฉลี่ยที่ 33.80 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าความเข้มข้นของฮีโมโกลบินเฉลี่ยที่ 18.73 กรัมต่อเดซิลิตร และปลานิลมี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ค่าเม็ดเลือดแดงอัดแน่นเฉลี่ยที่ 30.50 กรัมต่อเดซิลิตรและมีค่าความเข้มข้นของฮีโมโกลบินเฉลี่ยที่ 17.11 กรัมต่อเดซิลิตร ขณะที่ Peres (2004) ได้รายงานค่าเม็ดเลือดแดงอัดแน่นเฉลี่ยของปลานิลที่ 30.90 และค่าความเข้มข้นของฮีโมโกลบินเฉลี่ยที่ 9.40 กรัมต่อเดซิลิตร นั่นแสดงว่า ค่าเม็ดเลือดแดงอัดแน่นและค่าความเข้มข้นของฮีโมโกลบินของปลานิลสามารถบอกความผิดปกติเบื้องต้นกับปลานิลได้ ส่วนความแตกต่างระหว่างค่าเม็ดเลือดแดงอัดแน่นและค่าความเข้มข้นของฮีโมโกลบินของปลานิลที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากรายงานนั้น อาจเป็นผลมาจากลักษณะการเลี้ยงปลา เช่น อาหาร อุณหภูมิและความเค็มของน้ำ รวมถึงจุลินทรีย์ หรือสารเคมีต่าง ๆ ในน้ำที่ปลาอาศัยอยู่ซึ่งมีความแตกต่างกันส่งผลให้สุขภาพของปลาแตกต่างกัน Chen (2004) และ Aziza (1998) ได้ศึกษาความเข้มข้นของแอมโมเนียที่ไปมีผลต่อความเข้มข้นของฮีโมโกลบิน พบว่าความเข้มข้นของฮีโมโกลบินเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของแอมโมเนียที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากปลาต้องมีการปรับตัวเพื่ออาศัยอยู่ได้ในสภาพแวดล้อมที่ไม่ปกติ จากรายงานของ Nussey (1995) พบว่าความเครียดที่สะสมอย่างยาวนานจะทำให้ความเข้มข้นของฮีโมโกลบินสูงกว่าการเกิดความเครียดระยะสั้นหรือไม่มีความเครียดเลย

3.5 ปริมาณโซเดียมไอออนในโลหิตของปลานิล

ตารางที่ 24 ปริมาณโซเดียมไอออนในแต่ละฤดูกาล

หน่วย : มิลลิอีควิวาเลนท์ต่อลิตร

Season	Oxidation Pond 1	Oxidation Pond 2	Oxidation Pond 3	Control
Summer	78.97 ± 30.74^{a}	35.77 ± 18.10^{b}	42.74 ± 14.02^{b}	28.70 ± 14.20^{b}
Winter	24.57 ± 8.26^{a}	33.65 ± 3.27^{a}	44.48 ± 21.25^{b}	18.95 ± 7.01^{a}
Rainy	41.90 ± 16.53^{a}	102.82 ± 30.16^{b}	95.61 ± 20.46^{b}	83.91 ± 37.18^{b}

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยแถวเดียวกันมีค่าซุปเปอร์สคลิปเดียวกันมีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$).

ปริมาณโซเดียมมีค่าแตกต่างกันมาก ในฤดูหนาวมีปริมาณต่ำที่สุดซึ่งแสดงว่าในฤดูหนาวคุณภาพน้ำดีกว่าในฤดูกาลอื่นทำให้ปลานิลมีการปรับตัวให้อยู่ได้กับสภาพแวดล้อมดีที่สุด ในฤดูร้อนในบ่อผึ่งที่ 1 ยังมีการปรับตัวไม่ดีเท่ากับบ่อผึ่งอื่นในฤดูกาลเดียวกัน ในฤดูฝนนั้นปลานิลมียังไม่สามารถปรับตัวกับสภาพแวดล้อมได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.6 ปริมาณคลอไรด์ในโลหิตของปลานิล

ตารางที่ 25 ปริมาณคลอไรด์ไอออนในแต่ละฤดูกาล

หน่วย : มิลลิอีควิวาเลนท์ต่อลิตร

Season	Oxidation Pond 1	Oxidation Pond 2	Oxidation Pond 3	Control
Summer	150.94 ± 43.86	145.67 ± 58.51	150.94 ± 43.86	145.67 ± 58.52
Winter	163.93 ± 29.48[a]	165.42 ± 29.63[a]	189.42 ± 72.16[a]	261.11 ± 70.38[b]
Rainy	175.48 ± 67.59[a]	127.60 ± 24.95[a]	294.26 ± 128.90[b]	226.72 ± 82.17[b]

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยแถวเดียวกันมีค่าซุปเปอร์สคลิปเดียวกันมีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P > 0.05).

2.6 ปริมาณแคลเซียมในโลหิตของปลานิล

ตารางที่ 26 ปริมาณแคลเซียมไอออนในแต่ละฤดูกาล

หน่วย : มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร

Season	Oxidation Pond 1	Oxidation Pond 2	Oxidation Pond 3	Control
Summer	33.86 ± 4.50	33.29 ± 5.20	30.15 ± 3.44	29.75 ± 3.84
Winter	38.75 ± 4.88	36.46 ± 3.68	39.13 ± 1.74	37.11 ± 3.20
Rainy	36.45 ± 3.49	35.18 ± 3.18	36.40 ± 4.61	35.99 ± 9.16

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยแถวเดียวกันมีค่าซุปเปอร์สคลิปเดียวกันมีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P > 0.05).

การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาที่เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของความเครียดนั้นที่ส่งผลต่อปลานั้น ทำให้มีระดับของโซเดียมไอออนในเหงือกสูง เกิดจากการเคลื่อนที่ของโซเดียมและโปแตสเซียมไอออนออกจากร่างกาย โดยใช้พลังงาน ATP เพื่อรักษาสมดุลย์ของเกลือแร่ในร่างกาย (Jurss และคณะ ,1984) ผลการศึกษาดังกล่าวตรงกับผลการทดลองของ Avella และคณะ(1993) ซึ่งศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีและการเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อเยื่อผิวเหงือกของปลานิลและปลา *Oreochromis aureus* พบว่าเมื่อเพิ่มความเค็มขึ้น ค่าโซเดียมไอออนที่พบในเหงือกมีค่าเพิ่มขึ้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ในปลาที่มีในการปรับตัวสูงมักพบว่าค่าโซเดียมไอออนไม่เปลี่ยนแปลงจากก่อนทดสอบมากนักซึ่งในการขับโซเดียมไอออนและคลอไรด์ไอออนออกจากบริเวณเหงือกเพื่อรักษาสมดุลย์ในร่างกายปลา จากการทดลองครั้งนี้ โซเดียมไอออนมีปริมาณต่ำตั้งแต่ 25 มิลลิกรัมต่อลิตรจนถึง 95 มิลลิกรัมต่อลิตรซึ่งจากการทดลองของ Chen (2004) จะมีค่าประมาณ 160.9 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณแคลเซียมไอออนที่สูงขึ้นมีปริมาณประมาณ 30-35 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร ซึ่งอาจเกิดจากความเครียดที่เกิดจากการที่นำปลานิลไปเลี้ยงที่น้ำที่คุณภาพไม่เหมาะสมทำให้ปริมาณโซเดียมไอออนลดลงแต่ปริมาณแคลเซียมมีสูงขึ้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งแวดล้อมคือน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดโดยระบบบ่อผึ่งกับการอยู่อาศัยได้ของปลานิลที่เลี้ยงอยู่ในบ่อผึ่งน้ำเสียในโครงการแหลมผักเบี้ย จังหวัดเพชรบุรี โดยศึกษาจำนวนทั้งหมด 4 บ่อ ซึ่งประกอบด้วย บ่อผึ่งที่ 1 บ่อผึ่งที่ 2 บ่อผึ่งที่ 3 และบ่อควบคุม (บ่อปรับสภาพ) โดยให้ปลานิลกินเพียงอาหารธรรมชาติที่เกิดขึ้นเองภายในบ่อ หลังจากทำการศึกษาเป็นระยะเวลา 1 ปี ได้ผลสรุปดังนี้

1. คุณภาพน้ำเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าโลหิตวิทยา เนื่องจากปลามีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับสิ่งแวดล้อมภายนอกมาก การเปลี่ยนแปลงสิ่งแวดล้อมจึงส่งผลกระทบต่อปลามาก โดยเฉพาะความเข้มข้นของแอมโมเนีย แอมโมเนียที่พบในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเกิดจากการย่อยสลายอินทรีย์ในโตรเจน การขับถ่ายของสิ่งมีชีวิต ซากของสิ่งมีชีวิตที่ตาย ปุ๋ยและอาหารสัตว์น้ำที่เหลือตกค้าง เมื่อความเข้มข้นของแอมโมเนียในแหล่งน้ำสูงขึ้น ความสามารถในการขับถ่ายแอมโมเนียของสัตว์น้ำจะลดลง ทำให้ความเข้มข้นของแอมโมเนียในกระแสเลือดและเนื้อเยื่อสูงขึ้น ค่าความเป็นกรด-เบสของเลือดจึงสูงขึ้นส่งผลกระทบต่อปฏิกิริยาชีวเคมีต่าง ๆ และความคงสภาพของเนื้อเยื่อ ทำอันตรายต่อเหงือกปลาและลดความสามารถของเลือดในการลำเลียงออกซิเจน และปลาจะเสียชีวิตในที่สุด

2. ปริมาณโลหะหนักที่สะสมอยู่ในบ่อผึ่งน้ำเสียจะอยู่ในดินมากที่สุดรองลงมาจะอยู่ในน้ำและอยู่ในปลาน้อยที่สุด และจะมีมากในฤดูฝนและจะมีน้อยที่สุดในฤดูร้อนปลานิลจะได้รับผลกระทบต่อโลหะหนักมากกว่ามนุษย์เนื่องจากปริมาณโลหะที่มนุษย์สามารถรับได้โดยไม่เกิดผลกระทบมีค่าที่สูงกว่าที่ปลานิลได้รับแล้วเกิดผลกระทบและปลาจะได้รับโลหะหนักจากในน้ำโดยตรงและตลอดเวลาซึ่งต่างจากมนุษย์ที่ได้รับไม่ตลอดเวลา

3. จากการศึกษาผลของคุณภาพน้ำต่างๆ มีผลการเปลี่ยนแปลงค่าโลหิตวิทยาของปลานิลทั้ง 4 กลุ่ม ของจำนวนเม็ดเลือดแดง จำนวนเม็ดเลือดขาว ค่าเม็ดเลือดแดงอัดแน่นและค่าความเข้มข้นของฮีโมโกลบิน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4. จำนวนเม็ดเลือดแดงอัดแน่นจะแปรผันตามความเข้มข้นของฮีโมโกลบินซึ่งสามารถใช้เป็นตัววิเคราะห์หรืออุปมานได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ สามารถนำไปประกอบการพิจารณาสุขภาพปลานิลในการเลี้ยงที่มีคุณภาพน้ำไม่เหมาะสมหรือใช้ประเมินสุขภาพปลานิลเบื้องต้นได้

2. ข้อมูลจากการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ สามารถนำไปใช้พิจารณาตัดสินใจในการเลี้ยงปลานิลในระบบบำบัดแบบบ่อผึ่งแหล่งอื่นๆได้

3. นอกจากคุณภาพน้ำที่มีค่าดัชนีชี้วัดแล้วสิ่งมีชีวิตก็เป็นสิ่งสำคัญในการชี้วัดคุณภาพน้ำที่ดีและมีประสิทธิภาพเนื่องจากต้องอาศัยอยู่ในน้ำตลอดเวลา

4. ถ้าต้องการทราบค่าโลหิตวิทยาที่ถูกต้องแล้วควรมีการศึกษาปลานิลที่มีการเลี้ยงในแหล่งน้ำที่มีคุณภาพน้ำที่ดี แล้วนำมาเปรียบเทียบ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2527. **การป้องกันอันตรายจากตะกั่ว.** ม.ป.ท.

กรรณิการ์ สิริสิงห. 2544. **เคมีของน้ำ น้ำโสโครกและการวิเคราะห์.** ครั้งที่ 3. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏจันทรเกษม, กรุงเทพฯ.

กระทรวงสาธารณสุข. 2529. **พระราชบัญญัติโลหะหนักในอาหาร**. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 98.

กลุ่มวิจัยและวิเคราะห์สถิติการประมง. 2543. **สถิติผลผลิตการเลี้ยงสัตว์น้ำจืดประจำปี 2540 ฉบับที่ 7/2543**. กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

กลุ่มวิจัยและวิเคราะห์สถิติการประมง. 2544. **สถิติผลผลิตการเลี้ยงสัตว์น้ำจืดประจำปี 2541 ฉบับที่ 5/2544**. กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

กลุ่มวิจัยและวิเคราะห์สถิติการประมง. 2545. **สถิติผลผลิตการเลี้ยงสัตว์น้ำจืดประจำปี 2542 ฉบับที่ 7/2545**. กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

กลุ่มวิจัยและวิเคราะห์สถิติการประมง. 2546. **สถิติผลผลิตการเลี้ยงสัตว์น้ำจืดประจำปี 2543 ฉบับที่ 1/2546**. กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

กลุ่มวิจัยและวิเคราะห์สถิติการประมง. 2546. **สถิติผลผลิตการเลี้ยงสัตว์น้ำจืดประจำปี 2544 ฉบับที่ 10/2546**. กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

กลุ่มวิจัยอาหารสัตว์น้ำ. 2534. **อาหารสัตว์น้ำ.** เอกสารเผยแพร่ฝ่ายฝึกอบรม, กองส่งเสริมประมง กรมประมง, กรุงเทพฯ.

กรมควบคุมมลพิษ. 2549. **รายงานสถานการณ์มลพิษประเทศไทย พ.ศ.2549**. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ. 2549. **การติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ.** ม.ป.ท.

คีรี ก่ออนันตกุล. 2543. **การเพาะเลี้ยงปลานิลแปลงเพศ**. กองประมงน้ำจืด กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ณิฎฐารัตน์ ปภาวสิทธิ์และสมเกียรติ ปิยะธีรฐิติวรกุล. 2526. **การสำรวจสารมีพิษและพยาธิที่พบในอาหารจำพวกสัตว์น้ำในประเทศไทย**. ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ทัศนีย์ ภูพิพัฒน์. 2524. **ชีวประวัติปลานิล**. เอกสารวิชาการฉบับที่ 7/2524. สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ กองประมงน้ำจืด กรมประมง, กรุงเทพฯ.

เทศบาลจังหวัดเพชรบุรี. 2552. **ข้อมูลพื้นฐาน**. แหล่งที่มา: http://www.phetchaburicity.go.th/data_p.html, 1 กันยายน 2552.

นิพนธ์ ตังคณานุรักษ์ และคณิตา ตังคณานุรักษ์. 2550. **น้ำหลักการการตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี**. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นวรัตน์ ณ สงขลา. 2532. **พยาธิวิทยาของสิ่งแวดล้อม.** โรงพิมพ์ดีไซร์, กรุงเทพฯ.

บริษัท สยาม-เทค กรุ๊ป จำกัด. 2540. **รายงานฉบับกลางโครงการศึกษาความเหมาะสมระบบจัดการมูลฝอย เทศบาลเมืองเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี.**

ปราณี พันธุสินชัย. 2537. **คู่มือการดำเนินงานควบคุมปัญหาน้ำเสียของภาครัฐ องค์การบริหารส่วนจังหวัด เทศบาล และสุขาภิบาล**. กรมควบคุมมลพิษ, กรุงเทพฯ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวตและกัลยา วัฒนากร. 2520**. การแพร่กระจายของโลหะหนักในแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง**.รายงานการสัมนาวิชาการ ปัญหามลภาวะโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมในประเทศไทย, สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พรชิตา ปิตตาทะโน. 2552. **ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะหนักสะสมกับน้ำหนักของปลานิลที่เลี้ยงในบ่อผึ่งน้ำเสียแบบบ่อผึ่งของเทศบาลเมืองเพชรบุรี**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พัฒนา มูลพฤกษ์. 2541. **อนามัยสิ่งแวดล้อม.** หจก.เอ็น.เอส.แอล.พริ้นติ้ง, กรุงเทพฯ.

ไพโรจน์ เติมเตชาติพงศ์. 2537. **การศึกษาโลหิตวิทยาและรูปร่างลักษณะเม็ดเลือดขาวของปลาบึกด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบธรรมดาและกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ภารดี คะลา. 2541. **ศักยภาพของแม่น้ำเพชรบุรีต่อการรองรับปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.

มานพ ตั้งตรงไพโรจน์, ภาณุ เทวรัตน์มณีกุล, พรรณศรี จริโมภาส, สุจินต์ หนูขวัญ, กำชัย ลาวัณยวุฒิ, วีระ วัชรกรโยธิน และ วิมล จันทรโรทัย. 2536. **การพัฒนาการเพาะเลี้ยงปลา นิล**. เอกสารเผยแพร่ฉบับที่ 23. สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด กรมประมง, กรุงเทพฯ.

มาลินี ลิ้มโภคา. 2523. **พิษวิทยาและการวินิจฉัยโรคทางสัตวแพทย์.** โรงพิมพ์จรัลสนิทวงศ์, กรุงเทพฯ.

ไมตรี สุทธิจิตต์. 2531. **สารพิษรอบตัวเรา.** โรงพิมพ์ทางคอมพิวกราฟฟิค, เชียงใหม่.

ยุพดี วัยคุณา. 2540. **เอกสารคำสอนรายวิชา เคมีสภาวะแวดล้อม.** ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏสวนสุนันทา, กรุงเทพฯ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิรัช จิ๋วแหยม. 2544. **ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับคุณภาพน้ำและการวิเคราะห์คุณภาพน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ.** จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.

วิลาวัลย์ จึงประเสริฐ และ สุรจิต สุนทรธรรม. 2542. **อาชีวเวชศาสตร์.** สมาคมอนามัยแห่งประเทศไทย.บริษัทไซเบอร์ เพรส จำกัด, นนทบุรี.

สำนักงานจังหวัดเพชรบุรี. 2551. **ข้อมูลทั่วไปจังหวัดเพชรบุรี.** http://www.phetchaburi.go.th/data/dataphet_52.pdf. ค้นหาวันที่ 1 กันยายน 2552.

ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา. 2540. **ภาวะมลพิษของดินจากการใช้สารเคมี.** พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อังษณา ตั้งใจครองบุญ. 2540. **ผลกระทบแอมโมเนียต่อสัตว์น้ำ.** กรมวิทยาศาสตร์บริการ. สาระน่ารู้บทความวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีโดยกรมวิทยาศาสตร์บริการลำดับที่ 347 http://.dee.go.th/dssweb/st-articles/files/cp_10_2549_ammonia.pdf , 28 พฤษจิกายน 2552.

Alina, K.and P. Henryk. 1992. **Trace Elements in Soils and Plants**. 2nd ed. CRC, Inc., London.

Amrhein, C. and J.E. Strong . 1990. The effect of deicing salts on trace metal mobility in roadside soils. **Journal of Environmental Qualitative.** 19: 738-748.

Anderson, D. 1990. Immunological indicators: effects of environmental stress on immune protection and disease outbreaks. **American Fisheries Society Symposium.** 8: 38-50.

Avella, M.J.B. and M. Bomancin. 1993. Salinity tolerance of two tropical fishes Oreochromis aureus and O. niloticus. I Biochemical and morphological changes in the gill epithelium. **Journal of Fish Biology**. 42: 243-254.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Balarin, J. and R. Haller. 1989. **The intensive culture of tilapia in tank, raceway and cages. Recent Advances in Aquaculture.** 1: 265-356.

Barham, W.T., G.L. Smit and H.J. Schoonbee. 1980. The haematological assessment of bacterial injection in rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson. **Journal of Fish Biology.** 17: 275-281.

Benfey, T.J. and M. Biron. 2000. Acute stress response in triploid rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and brook trout (*Salvelinus fontinalis*). **Aquaculture**. 184: 167-176.

Blaxhall P. C. and Daisley K. W. 1973. Routine hematological method for use with fish blood. **Journal of Fish Biology.** 5: 771-781.

Blaxhall, P.C. 1972. The haematological assessment of the health of freshwater fish. **Journal of Fish Biology.** 4: 593-604.

Brames, E. and W. Anthony. 1983. Cadmium and lead through an agricultural food chain**. Science of the Total Environment.** 28: 285-307.

Boyd, C. E. 1979. **Water Quality in Warn Water Fish Ponds.** Agricultural Experiment Station. Auburn University, Alabama.

Casillas, E. and L.S. Smith. 1977. Effect of stress on blood coagulation and hematology on rainbow trout (*Salmo gairdneri*). **Journal of Fish Biology.** 10: 481-491.

Chalas ,J. G.,G. Tchobanaglos and F.L. Burton. 1991. **Wastewater Engineering : Treatment, Disposal and Reuse.** 3d ed. McGraw-hill, Inc., New York.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Chen, C., G. A. Wooster and P. R. Bowser. 2004. Comparative Blood Chemistry and Histopathology of Tilapia Infected with *Vibrio vulnificus* or *Streptococcus iniae* or Exposed to Carbon Tetrachloride, Gentamicin, or Copper Sulfate. **Aquaculture.** 239: 421-443.

Chester, R. and H. Vontsinon. 1981. The initial assessment of trace metal pollution in coastal sediments. **Marine Pollution.** 12: 84-91.

Colt, J. E. and D. A. Armstrong. 1981. **Nitrogen toxicity to fish, crustaceans and mollusks**. *In* : L. J. Allen and E. C. Kinney (Editors), Proceeding of the Bio - Engineering Symposium for Fish Culture**.** American Fisheries Society, Fish Culture Section, Bethesda, MD. 39-42.

Dambo, WB. and KJ. Rana. 1992. **Effect of density on growth and survival of *Oreochromis niliticuus* (L.) fry in the hatchery**. Aquaculture and Fisheries Management.

Duffus, H.J. 1980. **Environmental Toxicology (Resource and Environmental Science Series).** Edward Arnold Ltd., London.

Durborow, R.M., Crosby, D.M. and Brunson M.W. 1992. **Ammonia in fish ponds**. SRAC Publication No. 462.

Durborow, R.M., Crosby, D.M. and Brunson M.W. 1997. **Nitrite in fish ponds**. SRAC Publication No. 463.

Durborow, R.M. 2000. **Catfish farming in Kentucky**. Kentucky State University, Kentucky Department of Agriculture, and the National Oceanic and Atmospheric Administration.

Edward, 1995. **Fish Disease Diagnosis and Treatment**. Mosby - Year Book Inc.11830 Westline Industrial Drive St. Louis Missouri 63146: 55-74.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Ellsaesser C. K. and Clem L. W. 1986. Haematological and immunological changes in channel catfishstressed by handling and transport. **Journal of Fish Biology.** 28: 511-521.

Emerson, K., R.C. Russo, R.E. Lund, and R.V, Thurston. 1975. Aqueous Ammonia Equilibrium Calculations: Effects of pH and Temperature, **Journal of the Fisheries Research Board of Canada.** 32: 2379-2383.

Eustace, I.J. 1974. Zing, Cadmium, Copper, Manganese in species of finfish and shellfish caught in the Derwent Estaury, Tasmania. **Australia Journal Marine Freshwaer.** 25:209-220

Ewing, S.A., D.C. Lay and E. von Borell. 1999. **Farm Animal Well-Being-Stress Physiology, Animal Behavior, and Envi-ronmental Design**. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.

Ezzat A. A., Shaban M. B. and Farghaly A. M. 1974**.** Studies on the blood characteristic of *ilapiaZilli* (Gervais) I. Blood cells. **Journal of Fish Biology**. 6: 1-12.

Floyd R.F. and Watson C. 1990. **Ammonia. Fisheries and Aquatic Sciences**, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida.

Gary, K.O. 2000. **Stress and Anesthesia, Collection of Body Fluid**: The Laboratory Fish. 1sted. Somerset: The bath Press. 503-509, 513-525.

Hardig J. and Hoglund L. B. 1983. On accuracy in estimating fish blood variables. **Comparative Biochemistry and physiology**. 75A: 35-40.

Hargreaves, J.A. Tucker, C.S. 2004. Managing Ammonia in fish ponds. **SRAC Publication No. 4603.**

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Harikrishnan R., Nisha Rani M., Balasundaram. 2003. Hematological and biochemical parameters in common carp, *Cyprinus carpio*, following herbal treatment for *Aeromonas hydrophila* infection. **Aquaculture.** 221: 1-4, 41-50.

Harrison, M. and D.D.H., Laxen. 1981. **Lead Pollution Causes and Control.** Cambridge University, London.

Harvey, D. 1993. **The status and potential of aquaculture in the united states: An overview and bibliography**. Deborah T. Hanfman. National agricultural library aquaculture information center national agriculture library Beltsville, Maryland

Hattingh, J. and J.J. Van Pletzen. 1974**.** The influence of capture and transportation on some blood parameters of freshwater fish. **Comparative Biochemistry and physiology**. 49A: 607-609.

Hé lé ne R. and Gé rard B. 1996. Fish Blood Parameters as a Potential Tool for Identification of Stress Caused by Environmental Factors and Chemical Intoxication. **Marine Environment.** 41: 1, 27-43.

Hrubec T. C. and Smith S. A. 1999. Differences between plasma and serum sample for the evaluationof blood chemistry values in rainbow trout, channel catfish, hybrid tilapias and hybrid stripedbass. **Journal Aquar Animal Healt**. 11: 116-122.

Jensen, F.B., N.A. Anderson and N. Heisler. 1987**.** Effects of nitrite exposure on blood respiration properties, acid-base and electrolyte regulation in the carp (*Cyprinus carpio*). **Journal Comparative Physiology.** 157: 533-541.

Jurss, K. Jh. Bittorf, Jh. Vokler and R. Wacke. 1984. Biochemical investigation into influence of environmental salinity on starvation of the tilapia, *Oreochromis mossambicus*. **Aquaculture.** 40:171-182.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Kaneko J. J. 1983. **An investigation of a monogenetic trematode infestation of Tilapia (*Oreochromis mossambicus*) in seawater**. Master's Thesis, University of Hawaii, 1-75.

Korcock D. E., Houston A. H. and Gray J. D. 1988. Effects of sampling conditions on selected blood variable of rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson. **Journal of Fish Biology**. 33: 319-330.

Luskova V., Svoboda M. and Kolarova J. 2002. The effect of Diazinon on Blood Plasma Biochemistry in Carp (*Cyprinus carpio L.*). **ACTA Vet**. 71: 117-123.

Manahan E. Stanley. 1992. **Toxicological Chemistry.** 2 nd. ed.Lewis Publ., Inc., Michigan.

Mara D.D. 1978. **Sewage Treatment in Hot Climates.** The Pitman Press, Scothland.

Mattesson, K., K.J. Lehtinen and J. Tana. 2001. Effect of pulp mill effluents and restricted diet on growth and physiology of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Ecotoxicology Environment.** 49: 144-154.

Mazeaud, M.M., F. Mazeaud and E.E. Donaldson. 1977. Primary and secondary effects of stress in fish : some new data with a general review. Trans. **American Fish Society.** 106: 201-212.

McCloskey, J.T and J.T. Oris. 1993. Effect of anthracene and solar ultraviolet radiation on gill ATPase and selected hematological measurements in the bluegill sunfish. **Aquar Toxicol.** 24: 207-218.

Meade, J. W. 1985. Allowable ammonia for fish culture. **Fish Cultural.** 47: 135-145.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Mohsen Abdel-Tawwab et al. 2007. The use of calcium pre-exposure as a protective agent againstenvironmental copper toxicity for juvenile Nile tilapia, Oreochromis niloticus L. **Aquaculture.** 264: 236–246

Moriarty, D. J. W. 1973. The physiology of digestion of blue green algae in Cichlid fish, *Tilapianilotica*. **Journal Zoology London.** 10171: 25-39.

Mulcahy, M. 1970. Blood values in the pike *Esox lucius* L. **Journal of fish Biology.** 2: 203-209.

Munkittrick, R.K and J.F. Leatherland. 1983. Haematocrit values in feral goldfish, *Carassius auratus* L., as indicators of the heath of the population. **Journal of fish Biology.** 23: 153-161.

Payan, D. and A. J. Matty. 1975. The characteristics of ammonia excretion by a perfushed isolated head of trout (*Salma gairdneri*) : Effect of temperature and CO2 - Free ringer. **Comparative Biochemistry and physiology.** 96: 167-184.

Peres, H., C. Lim and P. H. Klesius. 2004. Growth, Chemical Composition and Resistance to *Streptococcus iniae* Challenge of Juvenile Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Fed Graded Levels of Dietary Inositol. **Aquaculture.** 235: 423 – 432.

Pullin, R.S.V. 1988. **Tilapia genetic resources for aquaculture**. ICLARM Conf. Proc. 16. ICLARM, Manila, Philippines.

Rao G. M. M. 1969. Effect of activity,salinity and temperature on plasma concentrations of rainbowtrout. **Canadian Journal of Zoology**. 47: 131-134.

Reilly, C. 1980. **Metal Contamination of Food.** Applied Science Publisher Ltd., London.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Roberts, R.J. 1978. **Fish Pathology**. Bailliere Tindall, London.

Sakamoto, K., Lewbart, G.A. and Smith II, T.M. 2001. Blood chemistry values of juvenile red Pacu (*Piaractus brachypomus*). **Journal Veterinay Clinician Pathology.** 30(2): 50-52.

Salomon, W. and U. Forstner. 1984. **Metal in the Hydrocycle**. Springer-Verlag, Berlin.

Soivio, A. and A. Oikari. 1976. Haematological effects of stress on a teleost, *Esox lucius* L. **Journal of fFish Biology**. 8: 397-411.

Srivastava, A.K. and S. Mishra. 1979**.** Blood dyscrasia in a teleost, *Colisa fasciatus* after acute exposure to sublethal concentration of lead. **Journal of fFish Biology**. 14: 199-203.

Sun, L. G., G. Chen and C. Chang. 1995. Acute Responses of Blood Parameters and Comatose Effects in Salt–Acclimated Tilapias Exposed to Low Temperatures. **Journal of Thermal Biology.** 20(3): 299 – 306.

Swinge H.S. 1969. **Methods of Analysis for Water, Organic Matter, and Pond Bottom Soil Used in Fisheries Research.** Auburn University**.** Alabama.

Thomas L. Welker et al. 2007. Growth, immune function, and disease and stress resistance of juvenile Nile tilapia (Oreochromis niloticus) fed graded levels of bovine lactoferrin. **Aquaculture**. 262: 156-162

Velinsky, D.J., T.L. Wade, C.E. Schlekat and B.J. Presley. 1994. **Tidal River Sediments in the Washington D.C. Area 1 Distribution and Sources of Trace Metals**. Estuaries 17: 305-320.

Viola, S. and Y. Arieli. 1983. Nutrition studies with tilapia (*Sarothreodon* sp.). **Replacement of fish meal by soybean meal in feeds for intensive tilapia culture.** Bamidgeh. 35: 9-17.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Waagbo R., Sandnes K., Espelid S. and Lie O. 1988. Haematological and biochemical analyses of Atlantic salmon, *Salmo salar L.*, suffering from cold water vibriosis (Hitra disease). **Journal of Fish Disease.** 11, 417-423.

Waiwood, K.G. 1980. Changes in hematocrit of rainbow trout exposed to various combinations of hardness, pH and copper. **Transaction of the American Fisheries Society**. 109(4): 461-463.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การนับจำนวนเม็ดเลือดแดงและเม็ดเลือดขาว (Klontz, 1994)

1. ใช้ diluting pipette ดูดเลือดจนถึงขีด 0.5
2. ดูดสารละลาย Natt & Herrick's solution เข้าไปจนถึงระดับ 101 (อัตราส่วน 1:200)
3. เขย่าประมาณ 1-2 นาทีให้เข้ากัน แล้วนำไปนับจำนวนใน hemocytometer
4. ทิ้งสารละลายส่วนที่อยู่ใน capillary ประมาณ 2-3 หยด ZunmixX ก่อนนับจำนวนเม็ดเลือดแดงและเม็ดเลือดขาว
5. วางสไลด์นับเม็ดเลือดที่สะอาดแล้ว ลงบนแผ่นรองไสล์แล้วปล่อยสารละลายเข้าไปตรงช่องระหว่างสไลด์อย่าให้ล้น
6. ส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ด้วยกำลังขยายต่ำ เพื่อหาช่องตารางสี่เหลี่ยมจัตุรัสตรงกลาง จากนั้นนับจำนวนเม็ดเลือดแดง 5 ช่อง โดยใช้กำลังขยายสูง (โดยแต่ละช่อง ที่นับจะถูกแบ่งเป็นช่องละ 16 ช่องเล็กดังนั้นต้องนับจำนวนเม็ดเลือดแดงเป็น 80 ช่องเล็ก) ปริมาตรของแต่ละช่องที่นับ = 0.2 x 0.2 x 0.1 mm^3 = 0.004 mm^3 (red blood cell dilution = 1 : 200)
7. การนับจำนวนเม็ดเลือดขาว ให้นับ 4 ช่องใหญ่ ปริมาตรของแต่ละช่องที่นับ = 1 x 1 x 0.1 mm^3 = 0.1 mm^3 (white blood cell dilution = 1 : 200) (แต่ละ 4 ช่องใหญ่ จะถูกแบ่งเป็นช่องละ 16 ช่องเล็ก ดังนั้นต้องนับเม็ดเลือดขาวจำนวน 64 ช่องเล็ก)
8. การนับเซลล์เม็ดเลือด เริ่มตั้งแต่ด้านซ้ายของแถวบน 4 ช่อง แล้วลงไปยังแถวต่อไปจากขวาไปซ้ายและวนต่อไปจนครบ โดยเฉพาะเซลล์ที่อยู่ระหว่างเส้นแบ่งช่องถือว่านับทุกเซลล์ที่ติดขอบบนและทางด้านซ้ายมือของช่องสี่เหลี่ยมและนับแบบนี้เหมือนกันทุกช่อง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การคำนวณ

$$\text{จำนวนเม็ดเลือดแดง (เซลล์/มม}^3\text{)} = \frac{\text{จำนวน RBC ที่นับได้ x dilution}}{\text{Volume x จำนวนกลุ่มที่นับ}}$$

$$= \frac{\text{จำนวน RBC ที่นับได้ x 200}}{0.4 \times 5}$$

$$= \text{จำนวน RBC ที่นับได้ x 10,000}$$

$$\text{จำนวนเม็ดเลือดขาว (เซลล์/มม}^3\text{)} = \frac{\text{จำนวน WBC ที่นับได้ x dilution}}{\text{Volume x จำนวนกลุ่มที่นับ}}$$

$$= \frac{\text{จำนวน WBC ที่นับได้ x 200}}{0.1 \times 4}$$

$$= \text{จำนวน WBC ที่นับได้ x 500}$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

น้ำยาสำหรับย้อมนับจำนวนเม็ดเลือดแดง และจำนวนเม็ดเลือดขาว

Natt & Herrick's solution

	กรัม
NaCl	3.88
Na_2SO_4	2.50
Na_2HPO_4	2.8663
KH_2PO_4	0.25
Methyl violet 2B	0.10

Formaline 37% 7.50 มิลลิลตร

เติมน้ำกลั่นให้ครบ 1,000 มิลลิลิตรและนำไปกรองก่อนนำมาใช้

น้ำยา Drabbkin solution

	กรัม
Potassium ferriccyanide ($K_3Fe(CN)_6$)	0.20
Potassium cyanide (KCN)	0.05
Patassium Dihydrogen Phosphate (KH_2PO_4)	0.14

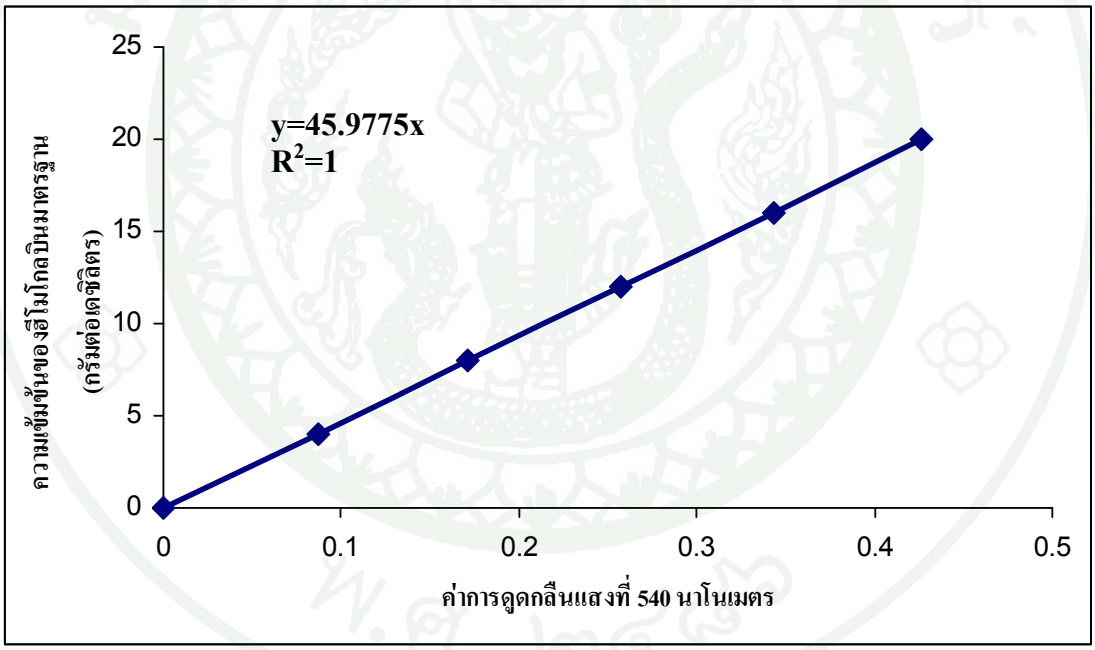
เติมน้ำกลั่นให้ครบ 1,000 มิลลิลิตร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 1 กราฟมาตรฐานของฮีโมโกลบินที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร

(หน่วย : กรัมต่อเดซิลิตร)

ค่าการดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร	ความเข้มข้นของฮีโมโกลบินมาตรฐาน
0.000	0.00
0.087	4.00
0.171	8.00
0.257	12.00
0.343	16.00
0.426	20.00



กราฟมาตรฐาน ความเข้มข้นของฮีโมโกลบิน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ	นายสัตวแพทย์ พีรชัย ใจรักกล้า
เกิดวันที่	3 พฤษภาคม 2527
สถานที่เกิด	โรงพยาบาลกลาง กรุงเทพฯ
ประวัติการศึกษา	สพ.บ. (สัตวแพทยศาสตรบัณฑิต) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ได้รับทุนโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อม แหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์