ผลกระทบของไกลโฟเสทและพาราควอตต่อปลานิลและปลาตะเพียนขาว

ทัศณียา มูลเข้า

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการประมง
สำนักงานบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2552

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

สำนักงานบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการประมง

ชื่อเรื่อง

ผลกระทบของไกลโฟเสทและพาราควอตต่อปลานิลและปลาตะเพียนขาว

โดย

ทัศณียา มูลเข้า

พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการที่ปรึกษา .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประจวบ ฉายบุ)

วันที่ 27 เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2552

กรรมการที่ปรึกษา .....

(รองศาสตราจารย์ ดร.นิวุฒิ หวังชัย)

วันที่ 27 เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2552

กรรมการที่ปรึกษา .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เทพรัตน์ อึ้งเศรษฐพันธ์)

วันที่ 27 เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2552

ประธานกรรมการประจำหลักสูตร .....

(รองศาสตราจารย์ ดร.เกรียงศักดิ์ เม่งอำพัน)

วันที่ 27 เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2552

สำนักงานบัณฑิตศึกษารับรองแล้ว .....

(รองศาสตราจารย์ ดร.เทพ พงษ์พานิช)

ประธานกรรมการบัณฑิตศึกษา

วันที่ 31 เดือน ส.ค. พ.ศ. 2552

ชื่อเรื่อง ผลกระทบของไกลโฟเสทและพาราควอตต่อปลานิลและปลาตะเพียนขาว

ชื่อผู้เขียน นางสาวทัศณียา มูลเข้า

ชื่อปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการประมง

ประธานกรรมการที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประจวบ ฉายบุ

บทคัดย่อ

ผลกระทบของไกลโฟเสทและพาราควอตต่อปลาตะเพียนขาวและปลานิล แบ่งการศึกษาเป็น 4 การทดลอง คือ การศึกษาพิษเฉียบพลัน (lethal concentration : LC_{50}) ของสารกำจัดวัชพืชทั้ง 2 ชนิด ดังกล่าวข้างต้นในระยะเวลา 96 ชั่วโมง การศึกษาความผิดปกติทางด้านโครงสร้างกระดูกโดยวิธีการดองใส ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของโครโมโซมและศึกษาการเปลี่ยนแปลงจุลกายวิภาคศาสตร์เหงือกของลูกปลาตะเพียนขาวและปลานิล การศึกษาผลกระทบของไกลโฟเสทต่อปลานิลและปลาตะเพียนขาวใช้ความเข้มข้นของไกลโฟเสทที่ไม่ทำให้ลูกปลาตาย (LC_0) คือ 0.18 และ 0.98 pmm ตามลำดับ ส่วนปริมาณที่ใช้จริงในพืชน้ำและพืชบก และมาตรฐานคุณภาพน้ำแห่งประเทศไทย ความเข้มข้นไกลโฟเสทที่ใช้ทดลองเท่ากับ 0.6, 1.2 และ 4.8 ppm ตามลำดับ และการศึกษาผลกระทบของพาราควอตต่อปลานิลและปลาตะเพียนขาวใช้ความเข้มข้นพาราควอตที่ไม่ทำให้ลูกปลาตาย (LC_0) คือ 0.16 และ 0.2 ppm ส่วนปริมาณที่ใช้จริงในพืชน้ำและพืชบก และมาตรฐานคุณภาพน้ำแห่งประเทศไทย ความเข้มข้นไกลโฟเสทที่ใช้ทดลองเท่ากับ 0.35, 0.5 และ 0.7 ppm ตามลำดับ

ผลการศึกษาพบว่า สารกำจัดวัชพืชทั้ง 2 ชนิด ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างกระดูกของปลาทั้ง 2 ชนิด และไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงจำนวนและรูปร่างของโครโมโซม แต่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางด้านจุลกายวิภาคศาสตร์ของเหงือกในทุกความเข้มข้นของสารกำจัดวัชพืชทั้ง 2 ชนิด ซึ่งปฏิกิริยาที่พบการเปลี่ยนแปลงของเหงือก ได้แก่ การอัดตัวกันแน่นของซี่เหงือก (gill lamellae) พบการเพิ่มจำนวนเซลล์อย่างรวดเร็วทำให้มีลักษณะเป็นปุ่ม (hyperplasia) ซี่เหงือก (primary lamellae) มีความหนาขึ้น (thickening) เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม นอกจากนี้ยังพบว่าเยื่อบุผิว (epithelium) มีการพองและกิ่งเหงือก (secondary lamellae) หลอมรวมกัน การตั่งของเลือดเกิดจากเส้นเลือดฝอยแตกบริเวณปลายและฐานของกิ่งเหงือก การทดลองบ่งชี้ว่าความเข้มข้นของสารกำจัดวัชพืชทั้ง 2 ชนิด ความเข้มข้นที่ต่ำกว่ามาตรฐานคุณภาพน้ำแห่งประเทศไทยกำหนด ถึงแม้ว่าจะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างกระดูกของปลา

จำนวนและรูปร่างของโครโมโซม แต่ยังส่งผลถึงความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับเหงือก ซึ่งเหงือกเป็นอวัยวะสำคัญที่ปลาใช้ในการแลกเปลี่ยนก๊าซเพื่อการดำรงชีวิต

Title Impact of Glyphosate and Paraquat on Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) and Common Silver Barb (*Barbodes gonionotus*)

Author Miss Tadsaneeya Moonkhow

Degree of Master of Science in Fisheries Technology

Advisory Committee Chairperson Assistant Professor Dr. Prachaub Chaibu

ABSTRACT

The study on the impact of Glyphosate and Paraquat on Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) and Common Silver Barb (*Barbodes gonionotus*) was divided into 4 studies: using lethal concentration (LC_{50}) of 2 kinds of herbicide in a 96 hr determination; skeletal abnormality using Bone-Staining Technique; chromosome aberrations; and gill microanatomy of Nile Tilapia and Common Silver Barb. The impact of Glyphosate on Nile Tilapia and Common Silver Barb, showed that sub-lethal concentrations (LC_0) were at 0.18 and 0.98 ppm, respectively, as compared to the recommended dosages used in plants and aquatic plants, 0.60 ppm and 1.20 ppm, respectively, and that of Thailand Water Quality Standard, at 4.80 pmm. Meanwhile, Paraquat concentrations used in this study were also consided sub-lethal for Nile Tilapia (0.16 ppm) and Common Silver Barb (0.20 ppm), while recommended dosages used in plants and aquatic plants were at 0.35 ppm and 0.50 ppm, respectively, and 0.70 ppm, for Thailand Water Quality Standard for pesticides.

Results showed that the use of the 2 kinds of herbicides did not produce any skeletal changes and chromosomal aberrations but their effects were observed in fish gill microanatomy, as shown by the overlapping at the tip of gill lamellae, rapid hypertrophy and hyperplasis of primary lamellae epithelial cells and thickening of primary lamellae epithelium, as when compared with the control group, including the clubbings (telangiectasia) at the tip and base of the secondary lamellae, fusion of secondary lamellae and extensive aneurysm in secondary lamellae. These results indicated that the concentrations of these two herbicides were much lower than that of Thailand Water Quality Standards for pesticides. Even though there was no impact towards skeletal

structure and chromosome aberration but they were able to cause some changes on gill microanatomy thus affecting the gas exchange of the fish as gills are considered important structure for this function.

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประจวบ ฉายบุ ซึ่งเป็นประธานกรรมการที่ปรึกษา ได้ให้คำแนะนำในการวางแผนการดำเนินงานทดลอง ตลอดจนช่วยสนับสนุนงบประมาณในการจัดซื้อสารเคมีในการทดลอง และได้กรุณาให้คำแนะนำ ตรวจสอบแก้ไข จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่ให้ทุนสนับสนุนส่วนหนึ่ง (ทะเบียนวิจัยเลขที่ TRG 4580035) ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาตราจารย์ชนกันต์ จิดมนัส ที่สนับสนุนอุปกรณ์ อนุญาตให้ใช้ห้องปฏิบัติการตลอดระยะเวลาในการทำการทดลอง และช่วยแนะนำตรวจสอบแก้ไข ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาตราจารย์ ดร.อำนาจ มีเวที ที่ช่วยให้คำปรึกษา แนะนำแนวทาง การทดลองและอนุญาตให้ใช้เครื่องมืออุปกรณ์ รองศาสตราจารย์ ดร.นิวุฒิ หวังชัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์เทพรัตน์ อึ้งเศรษฐพันธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำ ตลอดจนช่วยตรวจสอบแก้ไขจนกระทั่งสำเร็จเป็นวิทยานิพนธ์อย่างสมบูรณ์

นอกจากนี้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาที่ได้สนับสนุนค่าใช้จ่ายในการศึกษาเล่าเรียนมาโดยตลอด ขอขอบคุณทุกๆ คนในครอบครัวและเพื่อนๆ ที่คอยเป็นกำลังใจให้ตลอดระยะเวลาในการศึกษา

ทัศณียา มูลเข้า

มีนาคม 2552

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
ABSTRACT	(5)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญ	(8)
สารบัญตาราง	(10)
สารบัญภาพ	(12)
สารบัญกราฟ	(13)
สารบัญตารางภาคผนวก	(14)
สารบัญภาพภาคผนวก	(15)
สารบัญกราฟภาคผนวก	(16)
บทที่ 1 บทนำ	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
ขอบเขตของการวิจัย	3
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร	4
ประเภทของสารกำจัดวัชพืช	4
ผลของสารกำจัดวัชพืชต่อสิ่งมีชีวิต	6
สารกำจัดวัชพืชที่ใช้ในการทดลอง	8
ความสามารถในการเคลื่อนย้ายของสารกำจัดวัชพืช	11
การตกค้างของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชในสัตว์	12
การแพร่กระจายของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชในแหล่งน้ำ	12
การตกค้างของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชในมนุษย์	13
ผลของสารกำจัดวัชพืชต่อสัตว์น้ำ	17
บทที่ 3 วิธีดำเนินการ	22
อุปกรณ์และสารเคมี	22
วิธีดำเนินการวิจัยและการวางแผนการทดลอง	23
การวิเคราะห์ข้อมูล	29
สถานที่ทำการทดลอง	29

หน้า

ระยะเวลาในการวิจัย 29
บทที่ 4 ผลการทดลอง 30
ผลการศึกษาความเป็นพิษเฉียบพลัน 30
ผลการศึกษาความผิดปกติทางจุลกายวิภาคของเนื้อเยื่อเหงือก 44
ผลการศึกษาความผิดปกติของโครงสร้างกระดูกด้วยวิธีดองใส 52
ผลการศึกษาความผิดปกติของโครโมโซมจากเหงือก 52
ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ 58
บทที่ 5 วิจารณ์และสรุปผล 68
วิจารณ์ผล 68
สรุปผล 72
บรรณานุกรม 74
ภาคผนวก 78
ภาคผนวก ก ขั้นตอนและอุปกรณ์การทดลอง 79
ภาคผนวก ข ประวัติผู้วิจัย 104

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
1	ตัวอย่างข้อมูลความเป็นพิษของสารกำจัดวัชพืชบางชนิดต่อสิ่งมีชีวิต	8
2	ระดับความเข้มข้นสูงสุด (maximum allowance concentration) ของสารพิษประเภทสารเคมีทางการเกษตรที่ยินยอมให้มีอยู่ในน้ำโดยไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ	16
3	มาตรฐานคุณภาพน้ำทางการประมง	20
4	แสดงการวางแผนการทดลองของสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสทในปลานิล	24
5	แสดงการวางแผนการทดลองของสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสทในปลาตะเพียนขาว	24
6	แสดงการวางแผนการทดลองสารกำจัดวัชพืชพาราควอตในปลานิล	25
7	แสดงการวางแผนการทดลองสารกำจัดวัชพืชพาราควอดในปลาตะเพียนขาว	25
8	การแยกชนิดโครโมโซมปลาโดยใช้ค่า centromeric index (C.I.)	28
9	วิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ	28
10	เปอร์เซ็นต์การตายสะสมของปลานิลในการทดลองพิษเฉียบพลันที่ความเข้มข้นของไกลโฟเสทต่างกันชั่วโมงที่ 1–96	31
11	จำนวนการตายทั้งหมดของปลานิลในการทดลองพิษเฉียบพลันที่ความเข้มข้นของไกลโฟเสทต่างกันที่ 96 ชั่วโมง	31
12	ปริมาณอุณหภูมิและค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำในการทดลองพิษเฉียบพลันของไกลโฟเสทต่อปลานิล	33
13	เปอร์เซ็นต์การตายสะสมของปลาตะเพียนขาวในการทดลองพิษเฉียบพลันที่ความเข้มข้นของไกลโฟเสทต่างกันชั่วโมงที่ 1–96	34
14	จำนวนการตายทั้งหมดของปลาตะเพียนขาวในการทดลองพิษเฉียบพลันที่ความเข้มข้นของไกลโฟเสทต่างกันที่ 96 ชั่วโมง	34
15	ปริมาณอุณหภูมิและค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำในการทดลองพิษเฉียบพลันของไกลโฟเสทต่อปลาตะเพียนขาว	36
16	เปอร์เซ็นต์การตายสะสมของปลานิลในการทดลองพิษเฉียบพลันที่ความเข้มข้นของพาราควอตต่างกันชั่วโมงที่ 1–96	37
17	จำนวนการตายทั้งหมดของปลานิลในการทดลองพิษเฉียบพลันที่ความเข้มข้นของพาราควอตต่างกันที่ 96 ชั่วโมง	37
18	ปริมาณอุณหภูมิและค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำในการทดลองพิษเฉียบพลันของพาราควอดต่อปลานิล	39

ตาราง		หน้า
19	เปอร์เซ็นต์การตายสะสมของปลาตะเพียนขาวในการทดลองพิษเฉียบพลันที่ความเข้มข้นของพาราควอตต่างกันชั่วโมงที่ 1–96	40
20	จำนวนการตายทั้งหมดของปลาตะเพียนขาวในการทดลองพิษเฉียบพลันที่ความเข้มข้นของพาราควอตต่างกันที่ 96 ชั่วโมง	41
21	ปริมาณอุณหภูมิและค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำในการทดลองพิษเฉียบพลันของพาราควอตต่อปลาตะเพียนขาว	43
22	เปอร์เซ็นต์จำนวนโครโมโซมของปลานิลที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสทความเข้มข้นต่างกัน	53
23	เปอร์เซ็นต์จำนวนโครโมโซมของปลาตะเพียนขาวที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสทความเข้มข้นต่างกัน	54
24	เปอร์เซ็นต์จำนวนโครโมโซมของปลานิลที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชพาราควอตความเข้มข้นต่างกัน	55
25	เปอร์เซ็นต์จำนวนโครโมโซมของปลาตะเพียนขาวที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชพาราควอตความเข้มข้นต่างกัน	56
26	ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%	60
27	ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำตลอดระยะเวลาการทดลองปลานิลที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสทความเข้มข้นต่างกัน ระยะเวลา 30 วัน	61
28	ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%	62
29	ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำตลอดระยะเวลาการทดลองปลาตะเพียนขาวที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสทความเข้มข้นต่างกัน ระยะเวลา 30 วัน	63
30	ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%	64
31	ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำตลอดระยะเวลาการทดลองปลานิลที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชพาราควอตความเข้มข้นต่างกัน ระยะเวลา 30 วัน	65
32	ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%	66
33	ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำตลอดระยะเวลาการทดลองปลาตะเพียนขาวที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชพาราควอตความเข้มข้นต่างกัน ระยะเวลา 30 วัน	67

สารบัญภาพ

ภาพ		หน้า
1	สาเหตุของการปนเปื้อนของสารกำจัดวัชพืชในแหล่งน้ำธรรมชาติ	15
2	กรอบแนวความคิด	21
3	จุลกายวิภาคของเหงือกปลานิล	45
4	จุลกายวิภาคของเหงือกปลาตะเพียนขาว	47
5	จุลกายวิภาคของเหงือกปลานิล	49
6	จุลกายวิภาคของเหงือกปลาตะเพียนขาว	51
7	โครโมโซมของปลาตะเพียนขาวที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชพาราควอต ความเข้มข้น 0.7 ppm	57
8	โครโมโซมของปลานิลที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชพาราควอตความเข้มข้น 0.5 ppm	57
9	โครโมโซมของปลานิลที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชพาราควอตความเข้มข้น 0.5 ppm	58
10	การจัดคาริโอไทป์โครโมโซมปลานิล *(Oreochromis niloticus)*กลุ่มควบคุม	58
11	การจัดคาริโอไทป์โครโมโซมปลาตะเพียนขาว *(Barbodes gonionotus)*กลุ่มควบคุม	59

สารบัญกราฟ

กราฟ		หน้า
1	แสดงความสัมพันธ์ของค่า Probit การตายของปลานิล และค่า Log ความเข้มข้นของสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสท	32
2	แสดงความสัมพันธ์ของค่า Probit การตายของปลานิล และค่า Log ความเข้มข้นของสารกำจัดวัชพืชพาราควอต	35
3	แสดงความสัมพันธ์ของค่า Probit การตายของปลาตะเพียนขาว และค่า Log ความเข้มข้นของสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสท	38
4	แสดงความสัมพันธ์ของค่า Probit การตายของปลาตะเพียนขาว และค่า Log ความเข้มข้นของสารกำจัดวัชพืชพาราควอต	42

สารบัญตารางภาคผนวก

ตาราง		หน้า
1	ผลการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของจำนวนโครโมโซมปลานิลที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสทความเข้มข้น 0.18, 0.6, 1.2 และ 4.8 ppm เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม	82
2	ผลการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของจำนวนโครโมโซมปลาตะเพียนขาวที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสทความเข้มข้น 0.6, 0.98, 1.2 และ 4.8 ppm เปรียบเทียบกับ กลุ่มควบคุม	83
3	ผลการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของจำนวนโครโมโซมปลานิลที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชพาราควอตความเข้มข้น 0.16, 0.35, 0.5 และ 0.7 ppm เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม	83
4	ผลการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของจำนวนโครโมโซมปลาตะเพียนขาวที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชพาราควอตความเข้มข้น 0.2, 0.35, 0.5 และ 0.7 ppm เปรียบเทียบกับ กลุ่มควบคุม	84

สารบัญภาพภาคผนวก

ภาพ		หน้า
1	ปลานิลและปลาตะเพียนขาวขนาด 3.5 เซนติเมตรและสารกำจัดวัชพืชที่ใช้ในการทดลอง	101
2	ตู้ปลาที่ใช้ในการทดลอง	102
3	การเตรียมตัวอย่างโครโมโซมจากเหงือก	102
4	อุปกรณ์ในการศึกษาจุลกายวิภาคของเหงือกปลา	103

สารบัญกราฟภาคผนวก

กราฟ		หน้า
1	อุณหภูมิในการทดลองปลานิลที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสท	85
2	ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำในการทดลองปลานิลที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสท	85
3	ปริมาณความเป็นกรด-ด่างในการทดลองปลานิลที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสท	86
4	ปริมาณแอมโมเนียในการทดลองปลานิลที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสท	86
5	ปริมาณไนไตรท์ในการทดลองปลานิลที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสท	87
6	ปริมาณไนเตรทในการทดลองปลานิลที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสท	87
7	ปริมาณออร์โธฟอสเฟตในการทดลองปลานิลที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสท	88
8	ปริมาณความกระด้างในการทดลองปลานิลที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสท	88
9	อุณหภูมิในการทดลองปลาตะเพียนขาวที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสท	89
10	ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำในการทดลองปลาตะเพียนขาวที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสท	89
11	ปริมาณความเป็นกรด-ด่างในการทดลองปลาตะเพียนขาวที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสท	90
12	ปริมาณแอมโมเนียในการทดลองปลาตะเพียนขาวที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสท	90
13	ปริมาณไนไตรท์ในการทดลองปลาตะเพียนขาวที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสท	91
14	ปริมาณไนเตรทในการทดลองปลาตะเพียนขาวที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสท	91
15	ปริมาณออร์โธฟอสเฟตในการทดลองปลาตะเพียนขาวที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสท	92
16	ปริมาณความกระด้างในการทดลองปลาตะเพียนขาวที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสท	92
17	อุณหภูมิในการทดลองปลานิลที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชพาราควอต	93
18	ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำในการทดลองปลานิลที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชพาราควอต	93
19	ปริมาณความเป็นกรด-ด่างในการทดลองปลานิลที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชพาราควอต	94
20	ปริมาณแอมโมเนียในการทดลองปลานิลที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชพาราควอต	94
21	ปริมาณไนไตรท์ในการทดลองปลานิลที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชพาราควอต	95
22	ปริมาณไนเตรทในการทดลองปลานิลที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชพาราควอต	95
23	ปริมาณออร์โธฟอสเฟตในการทดลองปลานิลที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชพาราควอต	96

กราฟ		หน้า
24	ปริมาณความกระด้างในการทดลองปลานิลที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชพาราควอต	96
25	อุณหภูมิในการทดลองปลาตะเพียนขาวที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชพาราควอต	97
26	ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำในการทดลองปลาตะเพียนขาวที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชพาราควอต	97
27	ปริมาณความเป็นกรด-ด่างในการทดลองปลาตะเพียนขาวที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชพาราควอต	98
28	ปริมาณแอมโมเนียในการทดลองปลาตะเพียนขาวที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชพาราควอต	98
29	ปริมาณไนไตรท์ในการทดลองปลาตะเพียนขาวที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชพาราควอต	99
30	ปริมาณไนเตรทในการทดลองปลาตะเพียนขาวที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชพาราควอต	99
31	ปริมาณออร์โธฟอสเฟตในการทดลองปลาตะเพียนขาวที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชพาราควอต	100
32	ปริมาณความกระด้างในการทดลองปลาตะเพียนขาวที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชพาราควอต	100

บทที่ 1
บทนำ

ในปัจจุบันนับว่าการควบคุมวัชพืชโดยการใช้สารกำจัดวัชพืชนั้น เป็นวิธีการที่มีความสำคัญอย่างมาก ทั้งนี้เนื่องจากการปรับปรุงวิธีการปลูก การขยายพื้นที่เพาะปลูก ประกอบกับการเปลี่ยนแปลงจากสังคมภาคการเกษตรไปเป็นสังคมภาคกึ่งอุตสาหกรรม ทำให้แรงงานในภาคเกษตรขาดแคลนและมีค่าจ้างแรงงานที่สูงขึ้นทำให้ไม่คุ้มค่าต่อการลงทุนและไม่สามารถทำงานได้ทันเวลากับการเจริญเติบโตของวัชพืช ดังจะเห็นได้ว่าสถิติของการจำหน่ายสารกำจัดวัชพืช ทั้งในตลาดต่างประเทศและในประเทศ การใช้สารกำจัดวัชพืชในปัจจุบันนี้มีมากกว่าสารกำจัดศัตรูพืชทางการเกษตรชนิดอื่นๆ เช่น สารกำจัดแมลง ไร และสัตว์ศัตรูพืช สารป้องกันกำจัดโรคพืช ตลอดจนสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช การป้องกันกำจัดวัชพืชโดยการใช้สารเคมีนั้นเป็นวิธีที่กำลังได้รับความนิยมและใช้กันอย่างแพร่หลาย ทั้งนี้นอกจากจะสามารถใช้ได้อย่างสะดวกรวดเร็วแล้ว ในหลายกรณียังใช้ต้นทุนที่ต่ำกว่าวิธีการอื่นๆ โดยเฉพาะในสภาพที่แรงงานหายากและราคาค่าแรงแพง การใช้สารกำจัดวัชพืชให้ได้ประสิทธิภาพนั้น ผู้ใช้จะต้อง มีความรู้ที่ดีพอ ทั้งนี้เนื่องจากสารกำจัดวัชพืชนั้นเปรียบเสมือนดาบสองคม ซึ่งจะต้องใช้ให้ถูกต้อง และด้วยความระมัดระวัง มิฉะนั้นแล้วสารกำจัดวัชพืชที่ใช้อาจจะเป็นอันตรายต่อพืชที่ปลูก มนุษย์ และสัตว์ต่างๆ ตลอดจนสิ่งแวดล้อมได้เช่นกัน

การใช้สารกำจัดวัชพืชของประเทศไทย ในบรรดาสารกำจัดศัตรูพืชทางการเกษตรทั้งหมดนั้น สารกำจัดวัชพืชเป็นกลุ่มที่มีปริมาณและมูลค่าการนำเข้ามากที่สุด จากรายงาน การนำเข้าของประเทศไทย ในช่วงตั้งแต่ปี พ.ศ. 2544-2548 โดยในปี พ.ศ. 2544 มีปริมาณ 20,957 ตัน มูลค่า 4,502 ล้านบาท ต่อมาในปี พ.ศ. 2545 มีปริมาณ 22,670 ตัน มูลค่า 4,349 ล้านบาท ในปี พ.ศ. 2546 มีปริมาณ 31,879 ตัน มูลค่า 6,101 ล้านบาท ในปี พ.ศ. 2547 มีปริมาณ 55,649 ตัน มูลค่า 6,080 ล้านบาท ในปี พ.ศ. 2548 มีปริมาณ 48,841 ตัน มูลค่า 5,806 ล้านบาท จะเห็นได้ว่าการนำเข้าของสารกำจัดวัชพืช มีปริมาณและมูลค่าเพิ่มมากขึ้นทุกปี ในระยะเวลา 20 ปีที่ผ่านมาได้มีการนำเข้าของสารกำจัดวัชพืชสูงที่สุดถึงร้อยละ 9.1 ส่วนการนำเข้าของสารกำจัดโรคพืชและสารกำจัดแมลงเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.9 และ 1.0 ต่อปี ตามลำดับ และคาดว่าการใช้สารกำจัดศัตรูพืชทางการเกษตรในประเทศไทยจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในอัตราร้อยละ 3-5 ต่อปี จากการรายงานปริมาณและมูลค่าของสารกำจัดวัชพืชที่มีการนำเข้าสูง 5 อันดับแรกของประเทศไทย ในปีพ.ศ. 2542 ได้แก่ ไกลโฟเสท (glyphosate), พาราควอต (paraquat), ทูโฟ-ดี (2,4-D), อะทราซีน (atrazine) และโบรมาซิล (bromacil) ปริมาณการนำเข้า 6,772, 875, 3,248, 975 และ 804 ตัน ซึ่งมีปริมาณการ

นำเข้าคิดเป็นมูลค่า 574, 301, 267, 138 และ 128 ล้านบาท (ทศพล, 2545) ต่อมาในปีพ.ศ. 2546 ได้แก่ ไกลโฟเสท พาราควอต ทูโฟ-ดี อะทราซีน และบูทาคลอ (butachlor) มีปริมาณการนำเข้า 2,481, 837, 511, 236 และ 131 ตัน ตามลำดับ ในปี พ.ศ. 2550 มีปริมาณการนำเข้าสารกำจัดวัชพืชสูงถึง 79,239 ตัน คิดเป็นมูลค่า 8,194 ล้านบาท จากปัญหาการขาดแคลนแรงงาน ค่าจ้างแรงงานสูง การเพาะปลูกพืชเชิงเดี่ยวในพื้นที่ขนาดใหญ่ การไม่ตระหนักถึงพิษ หรืออันตรายอันร้ายแรงของสารเคมีที่มีต่อสุขภาพและชีวิตของเกษตรกร และผลกระทบที่เกิดขึ้นกับสิ่งแวดล้อมจากการใช้สารเคมีกำจัดวัชพืช การขาดองค์ความรู้และข้อมูลประกอบการตัดสินใจในการเลือกใช้สารเคมี จึงทำให้เกษตรกรหันมาใช้สารเคมีกำจัดวัชพืชที่มีพิษรุนแรงมากเพิ่มขึ้นในทุกปี ปัจจุบันจึงมีสารเคมีกำจัดวัชพืชหลายชนิดในประเทศไทยที่เกษตรกรมีความนิยมใช้ค่อนข้างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารเคมีกำจัดวัชพืช 2 ชนิด ที่เกษตรกรรู้จักกันเป็นอย่างดีและมีการนำเข้าในอันดับต้นๆ ของประเทศไทย ได้แก่ ไกลโฟเสทและพาราควอต ซึ่งพาราควอตจัดว่าเป็นสารเคมีกำจัดวัชพืชที่มีพิษรุนแรงมากที่สุดในกลุ่มสารเคมีที่ใช้กำจัดวัชพืชที่มีใช้อยู่ในโลก ไม่มียาหรือสารใดที่สามารถแก้พิษของพาราควอตที่ได้ผลดีดังเช่นยาที่ใช้รักษาหรือแก้พิษที่เกิดจากสารเคมีกลุ่มอื่นๆ (ศักดา, 2546) ผลิตขายโดยใช้ชื่อการค้าว่า กรัมม็อกโซน (Gramoxone) ส่วนไกลโฟเสทเป็นสารกำจัดวัชพืชที่มีพิษในระดับปานกลาง มีการใช้ฆ่าวัชพืชน้ำและใช้ฆ่าวัชพืชที่ขึ้นบริเวณขอบบ่อ ผลิตขายทั่วไปมีชื่อการค้าว่าราวอัพ (Roundup) จะอยู่ในรูปไอโซโพลพิลามีนซอล (isopropylamine salt) หรือไกลโฟเสทซอล (glyphosate salt) ต่อมาในปีค.ศ. 1989 ได้มีการผลิตสารออกมาใหม่อีกในรูปของไกลโฟเสทไตรเซียม (glyphosate-trimesium) ซึ่งมีชื่อสามัญคือ ซัลโฟเสท (sulfosate) และเป็นที่รู้จักในชื่อการค้าว่า ทัชดาว (Touchdown)

สาเหตุจากปัญหาที่เกิดขึ้นในเรื่องของการใช้สารกำจัดวัชพืช การรู้เท่าไม่ถึงการณ์ของเกษตรกรที่ใช้สารกำจัดวัชพืชทำให้เกิดการรั่วไหลลงสู่แหล่งน้ำ ทั้งแหล่งน้ำธรรมชาติและบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นซึ่งอาจมีผลต่อความผิดปกติของสัตว์น้ำ เมื่อได้รับสารกำจัดวัชพืชที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำนั้นๆ ทั้งความผิดปกติแสดงออกให้เห็นด้วยตาเปล่าและความผิดปกตินั้นไม่แสดงออก ซึ่งอาจมีผลต่อความผิดปกติทางด้านเนื้อเยื่อ ฮอร์โมน เอนไซม์ ความเสียหายต่อโครโมโซม ดีเอ็นเอ และระบบสืบพันธุ์ เป็นต้น นอกจากจะมีผลต่อสัตว์น้ำแล้ว อาจยังจะส่งผลอันตรายต่อสุขภาพผู้บริโภคที่ได้รับประทานสัตว์น้ำชนิดนั้น ๆ จากสาเหตุนี้เองที่ผู้จัดทำได้ทำการศึกษาผลกระทบของสารกำจัดวัชพืชที่ผลต่อสัตว์น้ำวัยอ่อน ซึ่งได้นำมาศึกษาทดลองกับปลานิลและปลาตะเพียนขาว เพื่อหาความผิดปกติในปลาทั้ง 2 ชนิด หลังจากที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชทั้งสองชนิดนี้แล้ว ผลที่ได้จากการทดลองครั้งนี้อาจนำไปใช้ประโยชน์ เพื่อประกอบการพิจารณาเป็นแนวทางในการใช้สารกำจัดวัชพืชกลุ่มไกลโฟเสทและพาราควอตต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาพิษเฉียบพลัน (lethal concentration : LC_{50}) ของสารกำจัดวัชพืชกลุ่มไกลโฟเสทและพาราควอตต่อปลานิลและปลาตะเพียนขาว

2. เพื่อศึกษาหาความผิดปกติทางจุลการวิภาคของเนื้อเยื่อเหงือก หลังจากที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชกลุ่มไกลโฟเสท และพาราควอต

3. เพื่อศึกษาหาความผิดปกติของสัตว์น้ำทางด้านโครงสร้างกระดูก หลังจากที่ได้สัมผัสสารกำจัดวัชพืชกลุ่มไกลโฟเสทและพาราควอต

4. เพื่อศึกษาหาความผิดปกติในระดับโครโมโซมของเหงือก หลังจากที่ได้สัมผัสสารกำจัดวัชพืชกลุ่มไกลโฟเสทและพาราควอต

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณสารกำจัดวัชพืชกลุ่มไกลโฟเสทและพาราควอตที่สามารถมีอยู่ในน้ำ ในปริมาณที่ไม่เป็นอันตรายต่อปลาทั้งสองชนิดได้

2. ทราบข้อมูลเกี่ยวกับพิษเฉียบพลัน (LC_{50}) ของสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสทและพาราควอตต่อปลานิลและปลาตะเพียนขาว

3. ได้ทราบข้อมูลเกี่ยวกับเรื่องพิษที่เกิดจากสารกำจัดวัชพืชกลุ่มไกลโฟเสทและพาราควอตที่มีผลต่อความผิดปกติของสัตว์น้ำทั้ง 2 ชนิด ทั้งภายในและภายนอก รวมทั้งความผิดปกติของโครโมโซมและเนื้อเยื่อของเหงือก

ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้ต้องการที่จะศึกษาผลกระทบที่เกิดจากการใช้สารกำจัดวัชพืชของเกษตรกร ซึ่งเกษตรกรมีความนิยมใช้อยู่ 2 กลุ่ม คือ ไกลโฟเสทและกลุ่มพาราควอตที่เกิดการรั่วไหลลงสู่แหล่งน้ำ และไปมีผลต่อความผิดปกติของสัตว์น้ำ ในที่นี้จะศึกษาอยู่ด้วยกัน 2 ชนิด คือ ปลานิลและปลาตะเพียนขาว

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

สารกำจัดวัชพืช โดยทั่วไปอาจจะเรียกเป็นภาษาไทยที่แตกต่างกันไปได้หลายอย่าง เช่น ยาฆ่าหญ้า ยาปราบหญ้า ยากำจัดวัชพืช หรือสารเคมีกำจัดวัชพืช ซึ่งทั้งหมดนี้การใช้คำว่า "สารกำจัดวัชพืช" เป็นชื่อเรียกที่เหมาะสมที่สุด โดยได้มีการเรียกกันอย่างเป็นทางการในสมาคมวิทยาการวัชพืชแห่งประเทศไทย และกองพฤกษศาสตร์และวัชพืช กรมวิชาการเกษตร ซึ่งเป็นที่ยอมรับ โดยทั่วไปแล้วในการจำแนกประเภทของสารกำจัดวัชพืช ได้มีการแบ่งประเภทของสารออกเป็นกลุ่มๆ โดยอาศัยหลักในการจำแนกซึ่งจะแบ่งออกได้หลายวิธี ได้แก่ การแบ่งตามลักษณะวิธีการใช้ การแบ่งตามลักษณะอาการได้รับพิษโดยทั่วไป การแบ่งตามลักษณะการเลือกทำลายของสาร การแบ่งตามเวลาที่ใช้ ตลอดจนการแบ่งตามลักษณะโครงสร้างพื้นฐานทางเคมีและกลไกในการทำปฏิกิริยาทางชีวเคมีภายในพืช เป็นต้น

1. ประเภทของสารกำจัดวัชพืช

ในการจำแนกประเภทของสารกำจัดวัชพืชทั้งหมดนี้ ยังไม่สมบูรณ์เพียงพอ เนื่องจากปัญหาในการพัฒนาของระบบการจำแนกประเภทของสารกำจัดวัชพืชมีความหลากหลายมาก ทั้งในทางลักษณะทางเคมี และกลไกในการทำปฏิกิริยาของสารในแต่ละชนิด แต่อย่างไรก็ตามในระบบพื้นฐานทั่วไปที่นำมาใช้ในการจำแนกประเภทของสารกำจัดวัชพืชออกเป็นกลุ่มๆ นั้น จะแบ่งตามลักษณะโครงสร้างพื้นฐานทางเคมี ซึ่งมีความจำเป็นที่จะต้องมีการพิจารณาเกี่ยวข้องกับกลไกในการทำปฏิกิริยาของสารภายในพืชด้วย ในที่นี้ได้ทำการจำแนกประเภทของสารกำจัดวัชพืชสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มหลักๆ ดังต่อไปนี้

1.1 การแบ่งตามลักษณะการเลือกทำลาย แบ่งได้ 2 กลุ่ม ดังต่อไปนี้

1.1.1 สารประเภทเลือกทำลาย (selective herbicides) หมายถึง สารที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชบางชนิด แต่ไม่มีผลหรือมีผลน้อยกับพืชบางชนิด สารกำจัดวัชพืชส่วนใหญ่ที่มีจำหน่ายมักจะเป็นพวกที่เลือกทำลาย โดยฆ่าเฉพาะวัชพืชแต่จะไม่เป็นพิษต่อพืชปลูก เช่น ทูโฟ-ดี ฟลูอะซิฟอบ ฮาโลซีฟอบ และโพรพานิล เป็นต้น

1.1.2 สารประเภทไม่เลือกทำลาย (non-selective herbicides) หมายถึง สารที่มีผลในการทำลายพืชทุกชนิด เช่น พาราควอต ไกลโฟเสท และกลูโฟดิเนท เป็นต้น สารพวกนี้

จะทำลายพืชทุกชนิดที่สารสัมผัสการใช้จึงต้องระมัดระวังไม่ให้สารสัมผัสกับพืชปลูกมักนิยมใช้ในพืชปลูกพวกไม้ยืนต้นและแหล่งที่ไม่ได้ทำการเกษตร

1.2 การแบ่งตามลักษณะวิธีการใช้ แบ่งได้ 2 กลุ่ม ดังต่อไปนี้

1.2.1 สารประเภทฉีดทางใบ (foliar-applied herbicides) หมายถึง สารซึ่งทำลายพืชโดยมีการใช้ผ่านเข้าสู่พืชทางใบ เช่น ไกลโฟเสท กลูโฟดีเนท พาราควอต และทูโฟ-ดี เป็นต้น

สารประเภทฉีดทางใบนั้น สามารถแบ่งออกตามลักษณะอาการที่พืชได้รับพิษโดยทั่วไป (general symptoms) ได้ 2 กลุ่ม ดังนี้

ก. สารประเภทสัมผัส (contact herbicides) เช่น กลูโฟซิเนท พาราควอต และ เอ็มเอสเอ็มเอ เป็นต้น

ข. สารประเภทเคลื่อนย้าย (translocated herbicides) เช่น ทูโฟ-ดี อิมาซาพิล ไตรโคลพิล และตาลาปอนด์ เป็นต้น

1.2.2 สารประเภทฉีดทางเดิน (soil-applied herbicides) หมายถึง สารที่ใช้ฉีดลงบนดินหรือหลังจากฉีดแล้วมีการคลุกของสารเข้าไปกับดิน เพื่อทำลายเมล็ดวัชพืชที่กำลังงอก โดยสารจะเข้าสู่ต้นพืชได้ทางรากหรือยอดใต้ดิน (soil-acting herbicide) ส่วนใหญ่แล้วสารพวกนี้จะมีผลตกค้างในดิน เช่น แองคลอ อะทราซีน โบรมาซิล ออกซีฟลูออเฟน ออกซาเดียซัล และเพนดีเมทธาลีน เป็นต้น

1.3 การแบ่งตามลักษณะโครงสร้างพื้นฐานทางเคมี

เป็นการจำแนกโดยอาศัยหลักของโครงสร้างโมเลกุล และตำแหน่งของอะตอม ของสารภายในโมเลกุลที่คล้ายคลึงกัน แบ่งได้เป็น 2 กลุ่มดังต่อไปนี้

1.3.1 สารกำจัดวัชพืชที่เป็นอนินทรียสาร (inorganic herbicides) เป็นสารกำจัดวัชพืชที่ไม่มีอะตอมของธาตุคาร์บอนในโมเลกุล ได้แก่ แอมโมเนียม ซัลฟาเมท คอปเปอร์ซัลเฟต เมทาบอเรต และ โซเดียมคลอเรต เป็นต้น

1.3.2 สารกำจัดวัชพืชที่เป็นอินทรียสาร (organic herbicides) เป็นสารที่มีอะตอมของคาร์บอนเป็นองค์ประกอบอย่างน้อย 1 อะตอม โดยทั่วไปโมเลกุลของสารอินทรีย์ประกอบด้วยธาตุต่างๆ 12 ชนิด ซึ่งธาตุที่พบบ่อยที่สุด ได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ส่วนธาตุชนิดอื่นๆ ที่อาจจะพบบ้าง ได้แก่ ไนโตรเจน กำมะถัน ฟอสฟอรัส และธาตุในกลุ่มฮาโลเจน (halogen : F, Cl, Br, I) เป็นต้น อะตอมของคาร์บอนในโมเลกุลที่ไม่ได้ติดต่อกันเป็นวงแหวนจะเรียกว่า อะลิฟาติก ไฮโดรคาร์บอน ส่วนอะตอมของคาร์บอนที่จับกันเป็นวงแหวนจะเรียกว่า อะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน หรือเบนซิน สารกำจัดวัชพืชที่เป็นอินทรียสาร สามารถแบ่งเป็นกลุ่ม

ต่างๆ ตามลักษณะโครงสร้างพื้นฐานทางเคมีของสารและตามกลไกในการทำปฏิกิริยาทางชีวเคมี (Warrren and Hess, 1993)

การวัดความเป็นพิษ (toxicity measures)

การวัดความเป็นพิษนิยมวัดพิษ 2 ลักษณะด้วยกัน คือ วัดพิษเฉียบพลัน (acute toxicity) และวัดพิษเรื้อรัง (chronic toxicity)

พิษเฉียบพลัน หมายถึง พิษที่เกิดขึ้นในสัตว์ทดลองหลังจากให้สารพิษหนึ่งขนาด (single dose) โดยวิธีการกิน สัมผัส หรือหายใจ ภายในระยะเวลาอันสั้น (ไม่เกิน 14 วัน)

พิษเรื้อรัง หมายถึง พิษที่เกิดขึ้นในสัตว์ทดลองหลังจากให้สารพิษแก่สัตว์ทดลองหลายๆ ครั้งอย่างต่อเนื่อง ในระยะเวลาที่ยาวนาน การวัดพิษเรื้อรังนั้นปริมาณสารพิษที่สัตว์ทดลองได้รับในแต่ละครั้ง ไม่ถึงขนาดที่ทำให้ตายได้ อาการพิษเรื้อรังที่เกิดขึ้น ได้แก่ การเกิดผลต่อทารกในครรภ์ การเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม ผลต่อระบบเลือด ระบบประสาท และระบบสืบพันธุ์ผิดปกติหรือก่อให้เกิดมะเร็ง เป็นต้น

วิธีการทดสอบความเป็นพิษ (toxicity tests)

การทดสอบความเป็นพิษของสารฆ่าศัตรูพืชและสัตว์นั้น สามารถกระทำได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ และการนำไปใช้ประโยชน์ การทดสอบความเป็นพิษของสารหากจำแนกตามผลของการนำไปใช้ประโยชน์ สามารถแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

1. การทดสอบเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของสารต่อสิ่งมีชีวิตเป้าหมาย (target organisms) หมายถึง การนำสารเคมีมาทดสอบดูว่ามีประสิทธิภาพในการควบคุมสิ่งมีชีวิตที่เป็นศัตรูพืชและสัตว์มากน้อยเพียงใด

2. การทดสอบเพื่อศึกษาความเป็นพิษของสารต่อสิ่งมีชีวิตนอกเป้าหมาย (non-target organisms) หมายถึง การนำสารเคมีมาทดสอบดูว่ามีระดับความเป็นพิษต่อมนุษย์และสัตว์มากน้อยเพียงใด โดยใช้สัตว์ทดลอง เช่น หนู กระต่าย ในการทดสอบ

2. ผลของสารกำจัดวัชพืชต่อสิ่งมีชีวิต

สารกำจัดวัชพืชมีทั้งผลดีและผลเสียต่อสิ่งมีชีวิต ในด้านของผลดีก็เป็นผลประโยชน์ต่อเกษตรกรรวมไปถึงผู้ใช้ทั่วไป ในการนำไปฉีดพ่นเพื่อฆ่าทำลายวัชพืชที่ขึ้นบริเวณที่ไม่พึงประสงค์ ซึ่งเป็นการลดภาระค่าใช้จ่ายที่จะต้องเสียเพื่อจ้างคนมากำจัด ซึ่งปัจจุบันค่าแรงมีราคาเพิ่มขึ้นมาก ดังนั้นการใช้สารกำจัดวัชพืชจึงเป็นการประหยัดและสะดวกรวดเร็ว

กว่าการใช้แรงงานคน แต่ถึงอย่างไรก็ตามการใช้สารกำจัดวัชพืชก็มีผลเสียหลายด้าน ทั้งผลต่อสุขภาพของผู้ใช้เอง และสิ่งมีชีวิตที่อยู่บริเวณใกล้เคียง มีการศึกษามากมายเกี่ยวกับผลกระทบของสารกำจัดวัชพืชต่อสิ่งมีชีวิต โดยเฉพาะสารกำจัดวัชพืชที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลายและรู้จักกันดี สารพาราควอตเป็นตัวที่มีพิษมากที่สุดในบรรดาสารกำจัดวัชพืชทั้งหมดมีผลต่อการตอบสนองของชีวเคมีในตับของหนู Wistar และ Swiss คือ การตอบสนองของเอนไซม์ของหนูทั้ง 2 ชนิดแตกต่างไปจากเดิม มีการชักนำให้เกิดเอนไซม์ที่กระตุ้นการเกิดกระบวนการ Reduction ในหนู Wistar ขณะที่ในหนู Swiss มีการชักนำให้เอนไซม์ catalase ทำงานเร็วกว่าปกติ ดังนั้นจึงชี้ให้เห็นว่า พาราควอทมีการชักนำให้เกิดการทำงานเร็วกว่าปกติของเอนไซม์ในหนูทั้ง 2 ชนิด สารกำจัดวัชพืชพรีติคอล 0.382 mg/l มีผลทำให้สาหร่ายมีการเพิ่มจำนวนอย่างหนาแน่นคิดเป็น 81.6 – 93.3 % (Takahashi *et al*, 2007) สารกำจัดวัชพืชเทอบลทินเป็นเหตุให้เกิดการเพิ่มขึ้นของ sister-chromatid และ micronucleus แต่ไม่มีการเพิ่มขึ้นในกลุ่ม S9 mix (positive controls) (Moretti *et al*, 2002)

สารกำจัดวัชพืชทูโฟ-ดี ความเข้มข้นที่ 675 ppm ในระยะเวลา 7 สัปดาห์ ทำให้น้ำหนักสัตว์ทดลอง ซึ่งได้แก่ สุนัขหายไป และทำให้การบริโภคอาหารน้อยลง เนื่องจากปริมาณที่เพิ่มขึ้นของฟอสฟอรัสเล็กน้อย การเพิ่มของยูเรียในเลือด มีการบวมของถุงลม การลดลงของน้ำหนักอวัยวะตัวเมีย ได้แก่ ต่อมหมวกไต ม้ามและรังไข่ ส่วนการศึกษาเนื้อเยื่อของตับและไตนั้นพบว่า มีความผิดปกติไปจากกลุ่มควบคุม ความเข้มข้นของทูโฟ-ดีที่ 75 ppm ร่างกายสัตว์ทดลองไม่สามารถต้านทานได้แล้ว และการศึกษานี้ไม่ได้บ่งชี้ในเรื่องผลกระทบต่อภูมิคุ้มกันและการเกิดเนื้องอกในสัตว์ทดลอง (Charles and Leeming, 1998) นอกจากนี้ยังมี สารกำจัดวัชพืชอีกตัวหนึ่ง ซึ่งเกษตรกรมีความนิยมใช้มากรองมาจากพาราควอต ได้แก่ ไกลโฟเสท ซึ่งไกลโฟเสท มีผลทำให้จำนวนของรังนกที่ลดลงในธรรมชาติ ทำให้จำนวนของประชากรนกลดลงตามไปด้วย โดยเฉพาะนกกระจิบและนกกวัก สาเหตุมาจากสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสทที่มีชื่อการค้าว่าโรดิโอ เกษตรกรใช้สารกำจัดวัชพืชชนิดนี้ฉีดพ่นบริเวณพื้นที่ชุ่มน้ำ และนอกจากนี้สารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสท ที่มีชื่อการค้าราวอัพยังทำให้ประชากรของแมงมุมลดลงมากว่า 50 เปอร์เซ็นต์ (Northwest Coalition for Alternatives to Pesticides, 2004)

ข้อมูลความเป็นพิษ

ตาราง 1 ตัวอย่างข้อมูลความเป็นพิษของสารกำจัดวัชพืชบางชนิดต่อสิ่งมีชีวิต

ชื่อการค้าสารกำจัดวัชพืช	สิ่งมีชีวิต	ค่า LC_{50}(mg/kg)		ค่า LD_{50}(mg/kg)	
		ทางปาก	ทางผิวหนัง	ทางปาก	ทางผิวหนัง
Glyphosate(acid)	หนู	-	-	5,600	-
	กระต่าย	-	-	-	>5,000
Glyphosate(salt)	หนู	-	-	>5,000	-
	กระต่าย	-	-	-	>5,000
Paraquat	หนู	-	-	57	-
	กระต่าย	-	-	236-500	-
	ปลา(rainbow trout)	-	32	-	-

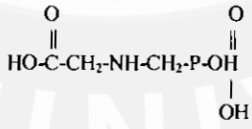
ที่มา : ทศพล (2545)

3. สารกำจัดวัชพืชที่ใช้ในการทดลอง

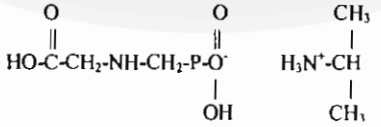
3.1 ไกลโฟเสท เป็นสารเคมีกำจัดวัชพืชมีชื่อการค้าว่าราวอัพ อยู่ในรูป ไอโซโพรพิลามีนซอล หรือ ไกลโฟเสทซอล ต่อมาในปี ค.ศ. 1989 ได้มีการผลิตออกมาใหม่อีกในรูปของไกลโฟเสทไตรมีเซียม ซึ่งมีชื่อสามัญคือ ซัลโฟเสท และเป็นที่รู้จักในชื่อการค้าว่าทัชดาวน์ (ทศพล, 2545)

<u>สูตรโครงสร้างทางเคมี</u>

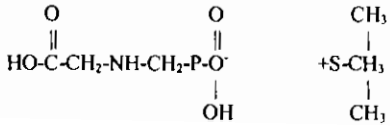
Glyphosate acid



Glyphosate isopropylamine salt



Glyphosate trimethysulfonium (trimesium) salt



ชื่อทางเคมี *N*-(phosphonomethyl)glycine มีสูตรโมเลกุลในรูป acid $C_3H_8NO_5P$, รูป Ipa salt $C_6H_{17}N_2O_5P$ และในรูป Tms salt $C_6H_{17}N_2O_5P$ มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 245.23

ลักษณะทางกายภาพ เป็นผลึกแข็งสีขาว ไม่มีกลิ่น มีจุดหลอมเหลวและจุดเดือด ที่ 200 องศาเซลเซียส และจุดเดือด 109 องศาเซลเซียส ที่ 160 mm Hg ความดันไอในรูป acid 1.84×10^{-7} mm Hg ที่ 45 องศาเซลเซียส ส่วนในรูป Tms salt 3×10^{-7} mm Hg ที่ 25 องศาเซลเซียส สภาพละลายในรูป acid ละลายน้ำที่ 25 องศาเซลเซียส, 15,700 mg/l ที่ pH 7 และ 11,600 mg/l ที่ pH 2.5 ส่วนในรูป Tms salt ละลายน้ำที่ 25 องศาเซลเซียส, 4,300,000 mg/l ที่ pH 7

ชื่อการค้า ราวอัพ สปาร์ค แบรค ไฟล์ คลีนอัพ คาวบอย โฟเสท มอนอัพ แอคคอด ฮอนโช พอนมาสเตอร์ โปรโตคอล ราสคอล (Monsanto) และ ทัชดาวน์ (Zeneca) เป็นต้น

ในการนำไปใช้ในทางการเกษตร ไกลโฟเสทเป็นสารที่แนะนำให้ใช้ทางใบ และใช้ในการควบคุมวัชพืชน้ำที่โผล่พ้นน้ำ

พิษเฉียบพลัน ในหนู LD_{50} มีค่าเท่ากับ 5,600 mg/kg ในกระต่ายและแพะมีค่า LD_{50} มากกว่า 10,000 mg/kg ,ในปลา bluegill sunfish LC_{50} มีค่าเท่ากับ 120 mg/l, ในปลา rainbow trout LC_{50} มีค่าเท่ากับ 86 mg/lในหอยนางรม LC_{50} มีค่าเท่ากับ 10 mg/l, ในปู LC_{50} มีค่าเท่ากับ 934 mg/l,ในกุ้ง LC_{50} มีค่าเท่ากับ 281 mg/l,ใน Daphnia LC_{50} มีค่าเท่ากับ 780 mg/l ที่ 48 ชั่วโมง

พิษเรื้อรัง ไม่มีผลในเรื่องพิษเรื้อรังต่อ สัตว์ทดลอง ได้แก่ หนู กระต่าย

พิษต่อระบบสืบพันธุ์ ไกลโฟเสทในปริมาณมากกว่า 150 mg/kg/day ในการทดลองในปฏิบัติ การกับสัตว์ทดลอง ทำให้ระบบสืบพันธุ์ผิดปกติ

พิษต่อทารกในครรภ์ ไม่มีผลต่อความผิดปกติต่อทารกในครรภ์

ผลต่อการผ่าเหล่า ไม่มีผลต่อการผ่าเหล่า

การก่อให้เกิดเซลล์มะเร็ง ไม่มีผลต่อการก่อให้เกิดเซลล์มะเร็ง

พิษต่ออวัยวะ พบความผิดปกติต่อตับและไตของสัตว์ทดลอง

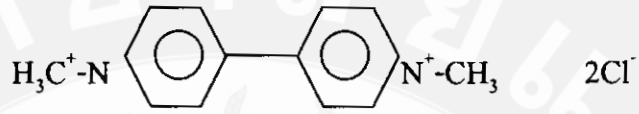
ครึ่งชีวิต (half-life) 47 วัน

3.2 กรัมม็อกโซน (paraquat dichloride) สารพาราควอตจัดเป็นสารที่อยู่ในกลุ่ม Bipyridiliums หรือ Bipyradiniums ซึ่งเป็นสารสัมผัสหรือสารทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ (contacts – membrane disrupters) มีการใช้ที่ใบและในน้ำ มีความเป็นพิษต่อสัตว์เลือดอุ่นสูง และยังสามารถ

ใช้ควบคุมวัชพืชน้ำได้ ชื่อการค้ามีหลายชื่อขึ้นอยู่กับบริษัทผู้ผลิตสารในกลุ่มนี้มีอีกตัวหนึ่งก็คือ ไดควอต ซึ่งมีพิษต่อสัตว์น้ำต่ำกว่า พาราควอต (ทศพล, 2545)

<u>สูตรโครงสร้างทางเคมี</u>

Paraquat dichloride salt



<u>ชื่อทางเคมี</u> 1,1-dimethyl-4,4-bipyridinium ion มีสูตรโมเลกุล ในรูป cation $C_{12}H_{14}N_2$ มีน้ำหนักโมเลกุล 186.26 และในรูป dichloride salt $C_{12}H_{14}C_{12}N_2$ มีน้ำหนักโมเลกุล 257.16 จุดหลอมเหลวอยู่ที่ 340 องศา ส่วนจุดเดือด ยังไม่ทราบ ความหนาแน่น 1.5 g/ml ที่ 25 องศาเซลเซียส

<u>ลักษณะทางกายภาพ</u> chloride salt บริสุทธิ์มีลักษณะเป็นของแข็งสีขาว เมื่ออยู่ในรูปของเหลวละลายน้ำ จะมีสีแดงเข้มเกือบดำ (dark-red) สภาพการละลาย ละลายในน้ำ 700 g/l ที่ 20 องศา ละลายได้น้อยในแอลกอฮอล์ ไม่ละลายในตัวทำละลายที่เป็นสารอินทรีย์ (organic solvents)

<u>ชื่อการค้า</u> ไซโดลน ซิดูควอต เดกโทรน ดีซูรอน สตาร์ไฟล์ กรัมม็อกโซน กรัมมิเซล กรัมโมนอล กรัมม็อกโซน ไดคลอไรด์ กรัมมูรอล พาราควอตคลอไรด์ และ วีดอล เป็นต้น บริษัทผู้ผลิต ICl Ameriacas Pillar, Sopra, Cyanamid, Cequat

<u>ในการนำไปใช้ในทางการเกษตร</u> พาราควอตเป็นสารกำจัดวัชพืชหลังงอก เป็นสารที่ใช้ทางใบโดยเฉพาะใช้กับวัชพืชสีเขียวพาราควอด สามารถดูดซับในวัชพืชที่จมน้ำได้ (Arnold and Kevin, 1990) สามารถใช้ควบคุมวัชพืชที่ลอยน้ำ และวัชพืชน้ำที่โผล่พ้นน้ำ

<u>พิษเฉียบพลัน</u> ในกระต่าย LD_{50} มีค่าเท่ากับ 236-500 mg/kg, ในหนู LD_{50} มีค่าเท่ากับ 57 mg/kg ในปลา rainbow trout LC_{50} มีค่าเท่ากับ 32 mg/kg (Hamishkidd and David, 1991)

<u>พิษเรื้อรัง</u> พาราควอต 1 ppm ภายใน 16 วัน พบว่ามีสารในตัวปลา 0.5 – 0.6 ppm ที่ผิวหนัง เหงือก กระเพาะอาหาร แต่ไม่พบในเนื้อปลา การทดลอง ในสุนัขโดยให้กินตลอดระยะเวลา 2 ปี พบว่า พาราควอตความเข้มข้น 34 mg/kg ทำให้การพัฒนาการของปอดผิดปกติ

<u>พิษต่อระบบสืบพันธุ์</u> เมื่อฉีดพาราควอต 3 mg/kg/day ให้กับหนูที่ตั้งครรภ์ 8 – 16 วัน พบว่า ทำให้มีการตายเกิดขึ้นของลูกหนู ในไก่ที่ให้กินพาราควอต 14 วัน พบว่ามีการเพิ่มขึ้นของความผิดปกติในไข่ไก่

พิษต่อทารกในครรภ์ ทำให้พัฒนาการของโครงสร้างผิดปกติ ไม่สมบูรณ์ น้ำหนักของแม่หนูและลูกหนูต่ำกว่าหนูที่ไม่ได้รับพาราควอต

ผลต่อการผ่าเหล่า มีผลต่อการผ่าเหล่าในสิ่งมีชีวิตในน้ำขนาดเล็ก

การก่อให้เกิดเซลล์มะเร็ง ยังไม่มีข้อสรุป

พิษต่ออวัยวะ พบความผิดปกติต่อปอด หัวใจ แก้วตา ต่อมหมวกไต ผิวหนัง ตับ และลำไส้ของสัตว์ทดลอง

ครึ่งชีวิต (half-life) มากกว่า 30 วัน

4. ความสามารถในการเคลื่อนย้ายของสารกำจัดวัชพืช

ความสามารถของสารกำจัดวัชพืชในการเคลื่อนย้าย (herbicides movement) ได้มากน้อยเพียงใด สามารถพิจารณาได้จากความเกี่ยวข้องของสารกำจัดวัชพืชที่มีต่อรูปของสารละลายในดินและสารละลายในน้ำ โดยทั่วไปแล้ววิธีการในการศึกษาการเคลื่อนย้ายของสารกำจัดวัชพืชในดินนั้น สามารถศึกษาได้จากการระเหยและการเคลื่อนย้ายของน้ำ

ก. การระเหย (volatilization) ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของของเหลวหรือของแข็งไปเป็นก๊าซ โดยทั่วไปแล้วศักยภาพของสารกำจัดวัชพืชที่ระเหยไปนั้น สามารถตรวจสอบได้โดยอาศัยความดันไอ (vapor pressure) การเคลื่อนย้ายผ่านทางกระบวนการระเหยนั้นสามารถช่วยทำให้เกิดการแพร่กระจายของสารกำจัดวัชพืชลงไปในดินได้อย่างสม่ำเสมอ ทำให้สารผ่านลงไป ในดิน และพืชสามารถที่จะดูดยึดสารเข้าไปได้โดยผ่านเข้าไปทางส่วนที่อยู่ใต้ดิน (ราก)

ข. การเคลื่อนย้ายของน้ำ (water movement) น้ำเป็นปัจจัยหลักที่สำคัญที่เกี่ยวข้องในการเคลื่อนย้ายของสารกำจัดวัชพืชลงสู่พื้นดิน นอกจากนี้ยังมีปัจจัยที่สำคัญที่จะช่วยให้มีการเคลื่อนย้ายของน้ำ ได้แก่ การไหลบ่า การชะล้าง และปฏิกิริยาของช่องว่างในดิน เป็นต้น

การชะล้าง (surface runoff) จะเกี่ยวข้องสำหรับการเคลื่อนย้ายของโมเลกุลของสารลงไปบริเวณผิวดินในบริเวณรอบนอกของพื้นที่เป้าหมาย (non target) การไหลบ่าของสารกำจัดวัชพืชส่วนใหญ่แล้ว จะเกิดขึ้นเมื่อมีฝนตกลงมาอย่างหนักก่อนที่สารจะมีการเปลี่ยนแปลง แล้วจึงมีการเคลื่อนย้ายลงไปในดิน

การซึมลึก (leaching) เป็นการเคลื่อนย้ายของสารกำจัดวัชพืชโดยมีน้ำ เป็นตัวกลางช่วยให้มีการเคลื่อนย้ายผ่านลงไปในชั้นของดิน ซึ่งเป็นวิธีการหลักของการขนส่งลำเลียงสารไปยังส่วนที่อยู่ใต้ดินของพืช การชะล้างของสารจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการลดความเกี่ยวข้องกันของสารละลายในดิน การลดขนาดโมเลกุลของสารและการเพิ่มสารละลายในน้ำ (ทศพล, 2545)

5. การตกค้างของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชในสัตว์

สาเหตุที่สัตว์ได้รับสารป้องกันกำจัดศัตรูพืช เนื่องจาก

1) สัตว์ได้รับสารพิษโดยตรงจากการฉีดพ่น สัตว์สามารถรับสารเข้าสู่ร่างกายได้ 3 ทาง คือ ทางอาหาร ทางการหายใจ และทางผิวหนัง ปริมาณสารที่สัตว์ได้รับเข้าไปนั้นไม่มากพอที่จะทำอันตรายกับสัตว์ สารนั้นจะสะสมในเนื้อเยื่อและอวัยวะต่าง ๆ ของสัตว์ได้

2) สัตว์ได้รับสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชโดยทางอ้อม คือ เกษตรกรฉีดพ่นสารกำจัดวัชพืชพลาดเป้าหมายมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ นั่นย่อมหมายความว่า สารเคมีจำนวนนั้นรวมทั้งสารเคมีในพื้นที่เป้าหมายด้วยได้ตกลงสู่น้ำ ดินและอากาศ และเข้าไปอยู่ในห่วงอาหารของสิ่งมีชีวิตทั้งหลายบนโลก (ศักดา, 2546) สัตว์กินอาหารตามลำดับขั้นในห่วงโซ่อาหาร ถ้าผู้ผลิตมีสารพิษตกค้างอยู่แล้ว สัตว์ก็จะได้รับสารพิษและสะสมในร่างกายได้ โดยเฉพาะสัตว์น้ำที่มีการปนเปื้อนของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืช จะสามารถสะสมสารพิษได้จากห่วงโซ่อาหารของแหล่งน้ำนั้น (นวลศรี, 2533)

6. การแพร่กระจายของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชในแหล่งน้ำ

การปนเปื้อนของสารกำจัดศัตรูพืชในแหล่งน้ำนั้น มาจากหลายสาเหตุด้วยกัน ดังต่อไปนี้ (ศักดา, 2546)

1) การฉีดพ่นสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชลงสู่แหล่งน้ำโดยตรง เพื่อกำจัดยุงและวัชพืชน้ำ

2) การกัดชะดินของฝนและน้ำไหลบ่าหน้าดินผ่านพื้นที่ที่มีการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชก่อนลงสู่แหล่งน้ำ

3) การระบายน้ำทิ้งจากบ้านเรือนและโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชลงสู่แหล่งน้ำ โดยมิได้มีวิธีกำจัดสารป้องกันกำจัดศัตรูพืช

4) การทิ้งหรือล้างภาชนะที่บรรจุสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชลงสู่แหล่งน้ำ

5) การใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชในบริเวณพื้นที่เกษตรใกล้กับแหล่งน้ำ

6) น้ำฝนสามารถนำเอาสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชที่ปะปนในอากาศมาสู่พืชได้ และในขณะเดียวกันก็อาจชะล้างสารที่ติดตามใบและลำต้นพืชออกไปได้เช่นกัน

เมื่อลงสู่แหล่งน้ำแล้ว จะมีปัจจัยต่างๆ เข้ามาเกี่ยวข้องหลายประการ ดังต่อไปนี้

1) ความสามารถในการละลายน้ำของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชชนิดต่างๆ จะแตกต่างกันไป

2) อัตราการระเหยขึ้นสู่บรรยากาศของสาร อาจมีได้บ้างในปริมาณน้อยมาก เนื่องจากสาร ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปสารแขวนลอยและดกตะกอน

3) ชนิดของอนุภาคดินที่ดูดซับสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชที่แตกต่างกันจะสามารถดูดซับได้ไม่เท่ากัน

4) ปริมาณสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำ สิ่งมีชีวิตและสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายแล้ว สามารถดูดซับสารได้ดี ถ้าบริเวณใดของแหล่งน้ำมีสารอินทรีย์อยู่มาก ก็มักตรวจพบสารในปริมาณสูงด้วย

7. การตกค้างของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชในมนุษย์

มนุษย์ก็เช่นเดียวกันกับสัตว์ทั้งหลาย ซึ่งสามารถรับสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชได้ 2 ทาง คือโดยทางตรงจากการฉีดพ่น ได้แก่ ผู้ที่เกี่ยวข้องกับสาร เช่น เกษตรกร ประชาชนที่ใช้สารเหล่านี้ตามบ้านเรือน หรือคนงานในโรงงานที่เกี่ยวข้องกับสารพิษ เมื่อได้รับสารเข้าไปในปริมาณมากพอ ก็จะแสดงอาการพิษได้อีกทางหนึ่งคือ โดยทางอ้อม จากการกินอาหารหรือดื่มน้ำที่มีสารพิษเจือปนอยู่ เช่น บริโภคข้าว ผัก ผลไม้ เนื้อสัตว์ ไข่ เป็นต้น ซึ่งอาหารเหล่านี้มีสารตกค้างในปริมาณน้อยก็จริงแต่จะสะสมมากขึ้นได้ในอวัยวะต่างๆ ของมนุษย์ เช่น ไขมัน ตับ ไต และสมอง เป็นต้น (นวลศรี, 2533)

ความเป็นพิษของไกลโฟเสทต่อร่างกาย

ยังไม่ปรากฏว่าเป็นพิษต่อมนุษย์ แต่จะมีอาการที่เกิดเฉพาะคนที่ได้รับโดยการกินเข้าไปในปริมาณที่มาก คือ เจ็บคอ กลืนลำบาก เลือดออกในทางเดินอาหาร เกิดอันตรายต่อตับ ไต ปอด ระบบหลอดเลือดและระบบประสาท เมื่อได้รับมาก ทำให้ความดันโลหิตต่ำ pulmonary edema ในเกษตรกรที่สัมผัสเกิด pneumonitis ยับยั้งการทำงานของ เอนไซม์ที่สังเคราะห์กรดอะมิโนพวก tryptophan, tyrosine และ phenylalanine ทำให้การสังเคราะห์โปรตีนผิดปกติ กระทบต่อการสังเคราะห์สารที่ควบคุมการเจริญเติบโต (วิทูร และไพโรจน์, 2529)

ความเป็นพิษของพาราควอตต่อร่างกาย

สารพาราควอตสามารถดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้โดยการกินและการสูดดมเอาละอองของพาราควอตเข้าไป สารนี้ถูกดูดซึมได้น้อยมากทางผิวหนังที่ไม่มีแผล ยกเว้นโดยการฉีดเข้าใต้

ผิวหนัง กลไกการออกฤทธิ์ที่แท้จริงยังไม่ทราบแน่ชัด เนื่องจากพาราควอตมีโครงสร้างคล้ายสารโปลีเอมีนที่มีอยู่ในธรรมชาติ ซึ่งเซลล์ของปอดจะเก็บกักไว้ในตัว พาราควอตเมื่อเข้าสู่ร่างกายจะถูกเก็บสะสมใน alveolar cell ชนิด I และ II โดยอาศัยขบวนการลำเลียงเข้าเซลล์ ซึ่งต้องใช้พลังงาน เมื่อสะสมอยู่ในเซลล์ของไตและปอดมากพอ จะทำให้เกิดวงจรรีดอกซ์ (redox cycling) และมีออกซิเจนที่เป็นอันตราย (toxic reactive oxygen) เกิดขึ้น มีผลทำให้มีการทำลายเนื้อเยื่อปอดทั้งชนิดเฉียบพลันและกึ่งเรื้อรัง (acute and subchronic) ทั้งยังทำลายเซลล์ท่อไต (rena tubular necrosis)

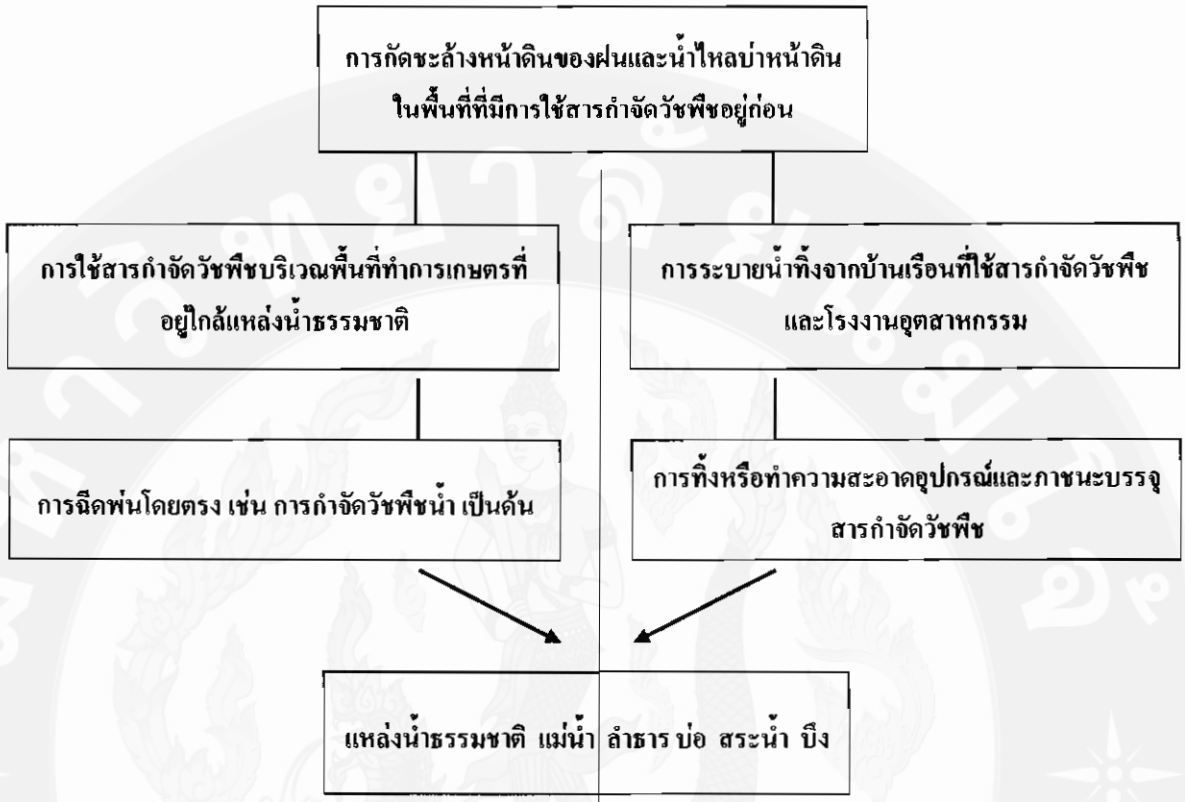
สมมติฐานที่เชื่อว่าเป็นไปได้คือ พาราควอตถูก reduce โดยเอนไซม์ NADPH ในเซลล์ของร่างกายเกิดเป็น reduce paraquat ซึ่งต่อมาจะถูก oxidize โดยออกซิเจนเกิด superoxide radical (O_2) แล้วหลังจากนั้นโดยเอนไซม์ superoxide dismutase จะทำให้ superoxide radical ทำปฏิกิริยากับน้ำเกิด H_2O_2 จะออกฤทธิ์ไปทำลายผนังเซลล์ของอวัยวะต่างๆ ทั่วร่างกาย ดังแสดงไว้ด้วยปฏิกิริยา (ศุภชัย, 2529)

$$\text{Paraqaut} \xrightarrow{\text{NADPH}} \text{ruduce paraqaut}$$

$$\text{Reduce paraqaut} \xrightarrow{O_2} \text{paraqaut} + \text{superoxide radical } (O_2)$$

$$\text{Superoxide radical} + H_2O \xrightarrow{\text{Superoxide dismutase}} H_2O_2 + O_2$$

พิษของพาราควอตจะทำให้เกิดพยาธิสภาพที่อวัยวะต่างๆ คือ ปอดเกิด pulmonary edema (การบวมมีน้ำขัง) ตับเกิดการสะสมของไขมันทำให้ตับจะมีขนาดโตขึ้น มีการคั่งของเลือดและน้ำดี ไตมี Cortical necrosis และ tubular necrosis มีขนาดโตขึ้น กระเพาะอาหารมีเลือดออก ต่อมหมวกไตจะถูกทำลาย หัวใจจะมี myocardial necrosis เกิดการพองตัวของไมโตคอนเดรียเอนโดพลาสมิกเรติคูลัมภายในเซลล์ขาดหายไป เกิดความเสียหายที่ epithelial cell ของเส้นเลือด pulmonary alveolar



ภาพที่ 1 สาเหตุของการปนเปื้อนของสารกำจัดวัชพืชในแหล่งน้ำธรรมชาติ

ตาราง 2 ระดับความเข้มข้นสูงสุด (maximum allowance concentration) ของสารพิษประเภทสารเคมีทางการเกษตร (pesticide) ที่ยินยอมให้มีอยู่ในน้ำโดยไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ

สารพิษ	ระดับความเข้มข้นสูงสุดที่ยอมให้มีได้ในแหล่งน้ำ (มิลลิกรัม / ลิตร)
1. สารพิษกลุ่ม Organochlorine	
DDT (Dichoro-dihphenyl-trichorometane)	0.5×10^{-3}
Dieldrin	0.2×10^{-3}
Endrin	0.01×10^{-3}
Heptachlor	0.4×10^{-3}
2. สารพิษกลุ่ม Organophosphate	
Fenitrothion	0.06
Malathion	0.02
Methyl parathion	0.2
Parathion	0.04
3. สารพิษกลุ่ม Carbamate	
Carbaryl	0.1
Carbofuran	0.008
4. สารเคมีกำจัดวัชพืช (Herbicide)	
Glyphosate	4.8
Paraquat	0.5
Propanil	0.5
2,4-D	45.0

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ (2543)

ผลของสารกำจัดวัชพืชต่อสัตว์น้ำ

Folmar *et al.* (1979) ทำการศึกษาความเป็นพิษของสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสท และสารกำจัดวัชพืชทั่วไปต่อปลาและสัตว์หน้าดิน การศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ใช้ไข่ปลา และตัวปลา โดยใช้ความเข้มข้นของสาร (ราวอัพ) 2.0 mg/l ทดสอบในปลา rainbow trout และ bluegill โดยมีการเพิ่มอุณหภูมิน้ำ ส่วนของปลา rainbow trout pH มีค่าเท่ากับ 7.5 มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในช่วง 17 องศาถึง 24 องศา และปลา bluegill pH มีค่าเท่ากับ 6.5 มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในช่วง 27 องศาถึง 44 องศา ผลปรากฏว่า pH ที่มีปริมาณสูงทำให้ glyphosate สลายตัวได้น้อย ทำให้ความเป็นพิษ มีสูงสลายตัวยาก

ประมาณปีพ.ศ. 2520 ได้ศึกษาเหงือกของปลาตะเพียนขาวที่ได้รับผลกระทบจากทองแดง พบว่าเมื่อใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอนตรวจบริเวณ gill lamellae ของปลาตะเพียนขาว ซึ่งอยู่ในสารละลายของโลหะทองแดง ($CuSO_4$) โลหะทองแดงได้ถูกนำมาใช้ในการควบคุมวัชพืชในแหล่งน้ำ โดยเฉพาะใช้กำจัดสาหร่ายหรือ Algicide ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ กันเป็นเวลา 48 ชั่วโมง พบว่าบริเวณผิวภายนอกของ epithelium จะมี particles ของส่วนประกอบของโลหะทองแดงเกาะติดอยู่มากมาย และจะพบ particles เหล่านี้อยู่ในช่องว่างระหว่างเซลล์ภายใน epithelium โดยมี inclusions เกิดขึ้นใน cytoplasm ของ epithelial และ chloride cells การตายของเซลล์เกิดขึ้นปลาที่อยู่ในความเข้มข้นของโลหะทองแดงสูงขึ้น จะพบเซลล์ใน gill lamellae อัดตัวกันแน่นขึ้น หลักฐานต่างๆ เหล่านี้แสดงว่าการแลกเปลี่ยนแก๊ซระหว่างเลือด และน้ำเป็นไปได้ยากขึ้น การตายของปลาตะเพียนขาวที่ได้รับผลกระทบจากโลหะทองแดงในระยะเฉียบพลัน (acute effect) จึงมีสาเหตุมาจากการขาดแคลนออกซิเจน

โกศล กาลรักษ์ และโสภัชน์ แก้วงาม (2537) ได้ทำการศึกษาพิษเฉียบพลันของพาราควอตต่อลูกปลาช่อนขนาด 1.5 – 2.5 เซนติเมตร ที่ระดับความเข้มข้นของพาราควอตที่ต่างกัน โดยใช้การทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ มี 4 ทรีตเมนต์ ทรีตเมนต์ละ 5 ซ้ำ ความเข้มข้น 5, 10, 15 และ 20 ppm ตามลำดับ ระยะเวลา 96 ชั่วโมง พบว่าความเข้มข้น 5 ppm จะทำให้ลูกปลาช่อนตายเพียง 20% และความเข้มข้นของพาราควอต 10 – 20 ppm ขึ้นไป ทำให้ลูกปลาช่อนตาย 70 – 100% และสังเกตพบว่า ลูกปลาช่อนที่ได้รับพิษของพาราควอต ระยะแรกจะว่ายน้ำอย่างรวดเร็ว ระยะต่อมาจะว่ายน้ำอยู่กับที่ สูญเสีย การทรงตัวและตายในที่สุด

วรรณี พฤกษศิริสมบัติ และคณะ (2544) ได้ทำการศึกษาพิษเฉียบพลันของไกลโฟเสท (ราวอัพ) ต่อปลานิลตรวจสอบทางจุลกายวิภาคของเนื้อเยื่อที่เกิดโรคในปลานิล โดยใช้ปลานิล 2 กลุ่ม คือ ลูกปลาและปลาตัวเต็มวัย หาค่า LC_{50} พบว่า ลูกปลามีค่า LC_{50} คือ 17.5, 17.1, 16.9 และ

16.8 ppm ตามลำดับ ส่วนปลาเต็มวัย ค่า LC_{50} คือ 46.9, 44.4, 40.0 และ 36.8 ppm ตามลำดับ จากผลของค่า LC_{50} ทำให้ทราบว่าปลาตัวเต็มวัยมีความทนต่อราวอัพได้มากกว่าลูกปลา และนำค่า LC_{50} ที่ 96 ชั่วโมง มาตรวจสอบดูเนื้อเยื่อในส่วนของเหงือก ปอดและไต พบว่า ในเหงือกมีการขยายของ cell filament อย่างรวดเร็ว cell lamellar เพิ่มจำนวนขึ้นมากอย่างผิดปกติ เยื่อบุผิวลอยยกขึ้น และมีการพอง ของเส้นเลือด ในปอดเกิดโพรงเล็กๆ ขึ้นใน cell เนื้อเยื่อและมีการหดตัวของเซลล์เม็ดเลือด ส่วนในไตนั้น เกิดช่องอากาศที่เรียกว่า Bowman's space ที่กว้างมาก และมีการรวมกันเป็นหยดในเซลล์ของเยื่อบุผิว

บรรจง และคณะ (2545) ได้ศึกษาพิษเฉียบพลันของ Dimethyl 2,2,2 trichloro-1 hydroxyethyl phosphonate (Trichlorfon) ต่อลูกปลาตะเพียนขาววัยอ่อนและสัตว์น้ำบางชนิด โดยทดลองในปลาตะเพียนขาววัยอายุ 4 , 8 , 12 และ 30 วัน มวนวน , ไรขาวและไรแดง ความเข้มข้น 0.167, 0.334 และ 0.5 mg/l อย่างละ 3 ซ้ำ ผลการทดลองพบว่า ค่า LC_{50} ที่ 24 และ 48 ชั่วโมง ความเชื่อมั่นที่ 95% ไตรคลอฟอนมีพิษรุนแรงต่อมวนวน ไรขาวและไรแดงมากกว่าลูกปลาตะเพียนวัยอ่อน

Vismara, *et al.* (2001) ได้ทำการศึกษาการลดลงของพิษพาราควอตต่อระยะเอ็มบริโอของกบ (*Xenopus laevis*) โดยใช้กรดแอสโครบิค โดยได้ทดลอง 2 การทดลอง คือ ใส่พาราควอต อย่างเดียว 0.1 mg/l และใส่พารควอตกับกรดแอสโครบิค 20-200 mg/l ผลพบว่า ใส่พาราควอทอย่างเดียวทำให้เกิดความผิดปกติของกระดูกสันหลัง myocytes มีรูปร่างแบบ Pear-shaped ส่วนใส่พาราควอตกับกรดแอสโครบิคนั้น เมื่อนำตัวอย่างมาดูพบว่าเห็นโครงสร้างหางของกบที่ชัดเจนขึ้น สรุปผลก็คือ พาราควอตมีพิษต่อเอ็มบริโอของกบรุนแรงมากแต่กรดแอสโครบิคสามารถลดความ เป็นพิษของพาราควอต

วจี ฟ้าประทายชัย (2547) ได้ศึกษาผลของยาปราบวัชพืชกรัมม็อกโซนต่อตัวอ่อนกบนา (*Haplobatrachus rugulosa*) พบว่า ในสารละลายกรัมม็อกโซนความเข้มข้นสูงมีผลทำให้ตัวอ่อนกบนาตายเป็นจำนวนมากและไม่มีชีวิตรอดจนถึงระยะที่มีการงอกขาหลังได้ อีกทั้งมีการเปื่อยยุ่ยของหางและมีความเสียหายของเนื้อเยื่อสมอง โดยพบ pyknotic cells กระจายอยู่หลายบริเวณ ส่วนตัวอ่อนที่เลี้ยงในสารละลายกรัมม็อกโซนความเข้มข้นต่ำ พบว่า มีการตายไม่แตกต่างไปจากกลุ่มควบคุม แต่มีความยาวลำตัวน้อยกว่าและการงอกของขาหลังช้ากว่ากลุ่มควบคุม รวมทั้งมีความผิดปกติที่เกิดขึ้นกับขาหลังด้วย

Babatunde, *et al.* (2001) ได้ศึกษาพิษเฉียบพลันของกรัมม็อกโซนต่อปลานิลในประเทศไนจีเรีย พบว่า ที่ 96 ชั่วโมง ค่า LC_{50} ของกรัมม็อกโซนมีค่าเท่ากับ 11.84 mg/l และจากการสังเกต เห็นความผิดปกติของ การว่ายน้ำคือมีการว่ายน้ำอย่างรวดเร็ว ฮุบอากาศตลอด และ

ที่ความเข้มข้น 12 และ 14.20 mg/l ทำให้เกิด Filament hyperplasia และ Lamella ความแตระแกร็น นอกจากนี้ยังทำให้เกิดการตกเลือด บริเวณครีบ ปลามีอาการว่ายน้ำเฉื่อยและตายในที่สุด สำหรับการศึกษาทางด้านจุลกายวิภาค ได้ทำการตรวจสอบเฉพาะผลกระทบที่เกิดขึ้นกับเหงือกปลา บริเวณส่วนที่เรียกว่า gill lamellae เท่านั้น

กิจการ และคณะ (2530) ในเรื่องของความเป็นพิษของสารกำจัดวัชพืชในน้ำ ความเป็นพิษแบบเฉียบพลันของสารกำจัดวัชพืช imazapyr ต่อปลานิล *(Sarotherodon niloticus)* และปลาตะเพียนขาว *(Puntius gonionotus)* คือหลังจากเติมสารลงไปประมาณ 10 – 15 นาที ปลาจะแสดงอาการขาดออกซิเจน คือ ลอยหัวอยู่บริเวณผิวน้ำ ในที่สุดก็เริ่มสูญเสียการทรงตัว (loss of equilibrium) ว่ายน้ำไม่มีทิศทางแน่นอนและจมลงสู่ก้นภาชนะ ในระยะนี้ปลายังสามารถหายใจได้ แต่อัตราการหายใจจะต่ำลง และมีความไวต่อการตอบสนองต่อสิ่งเร้าสูงขึ้น สังเกตได้จากการใช้แท่งแก้วคนแตะตู้กระจกเบา ๆ จะพบว่าปลาที่นอนนิ่งอยู่ก้นภาชนะจะพุ่งตัวขึ้นสู่ผิวน้ำอย่างรวดเร็ว

Matthiessen and Brafield (1973) พบว่า ปลา Stickleback (*Gasterosteus aculeatus*) ที่ทดลองกับโลหะสังกะสี ณ ความเข้มข้นที่ต่ำกว่าระดับอันตราย เหงือกจะมี chloride cell มากขึ้น การเปลี่ยนแปลงที่ epithelium ของเหงือกปลานี้ เป็นผลให้ gill filaments เสื่อมประสิทธิภาพ สถานะของระบบหายใจขัดข้อง และปลาต้องตายในที่สุด นอกจากนี้ก็ยังพบความผิดปกติที่เกิดขึ้นหลายแบบและมีความรุนแรงมากน้อยแตกต่างกันไป ได้แก่ การหดสั้นของ Secondary lamellae (SL) การบวมของเยื่อ Epithelium (E) การรวมติดกันของ Secondary lamellae (SL) การเพิ่มจำนวนของเซลล์อย่างรวดเร็ว (hyperplasia) ของ Mucous cells (MC) และ Chloride cell (CC) การพองซึ่งเกิดจากการคั่งของเส้นเลือดฝอยบริเวณปลายและฐานของ SL เนื่องจากเส้นเลือดฝอยแตก (telangiectasia) การหนาขึ้นของ Primary lamellae epithelium (PLE) และเกิดการแตกกระจายของเซลล์ภายใน SL

Ortiz *et al.* (2003) ได้ทำการศึกษาการชักนำทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในเหงือก ตับ และไตของปลาไนและปลาชิวหลังได้รับลินแดนซ์ (γ-HCH) ที่รั่วไหลลงสู่แม่น้ำ Barbate ทำการศึกษาในระดับเนื้อเยื่อ พบว่ามีการหดสั้นลงของกิ่งเหงือก การหนาขึ้นและรวมกันของกิ่งเหงือก การบวมของเยื่อ Epithelium ทำให้เกิดช่องอากาศภายใน และมีการเพิ่มจำนวนของเซลล์ที่ผิดปกติ (hyperplasia)

Al-Sabti (1984) พบว่าเซลล์บริเวณเหงือกเป็นบริเวณที่เซลล์มีการแบ่งตัวน้อย เมื่อเทียบกับเซลล์บริเวณไต เหงือกมีการสัมผัสและแลกเปลี่ยนก๊าซ ดังนั้นจึงสามารถสัมผัสกับสารได้โดยตรง ผลการศึกษาพบว่าในแต่ละการทดลองจำนวนโครโมโซมปลาไม่มีความแตกต่างกัน

โดยถือเอาจำนวนโครโมโซมที่เยอะที่สุดเป็นจำนวนโครโมโซมของปลาชนิดนั้น ๆ ซึ่งปลาตะเพียนขาวมีจำนวนโครโมโซมส่วนใหญ่อยู่ที่ 2n = 50 ประกอบด้วยรูปแบบโครโมโซม คือ 1m+3sm + 4st + 17a

Chew *et al.* (2002) อ้างในเกรียงไกร และทักขิณา (2547) พบว่าปลาในวงศ์ Cyprinidae มีจำนวนโครโมโซม 2n = 50 แต่มีรูปแบบคาริโอไทป์ต่างกัน เนื่องจากชนิดของปลาเป็นปลาต่างกลุ่มประชากรกัน ปลานิลมีจำนวนโครโมโซมส่วนใหญ่อยู่ที่ 2n = 44 ประกอบด้วยรูปแบบโครโมโซม คือ 4sm + 8st + 10a ส่วนเกรียงไกร และวรางคณา (2550) พบว่าปลาในกลุ่ม Tilapias มีจำนวนโครโมโซม 2n = 44 ถึง 2n = 48 และพบว่าเพศผู้และเพศเมีย แต่ละชนิดมีคาริโอไทป์เหมือนกัน แต่ในปลาต่างชนิดกันพบว่ารูปแบบของคาริโอไทป์ต่างกัน

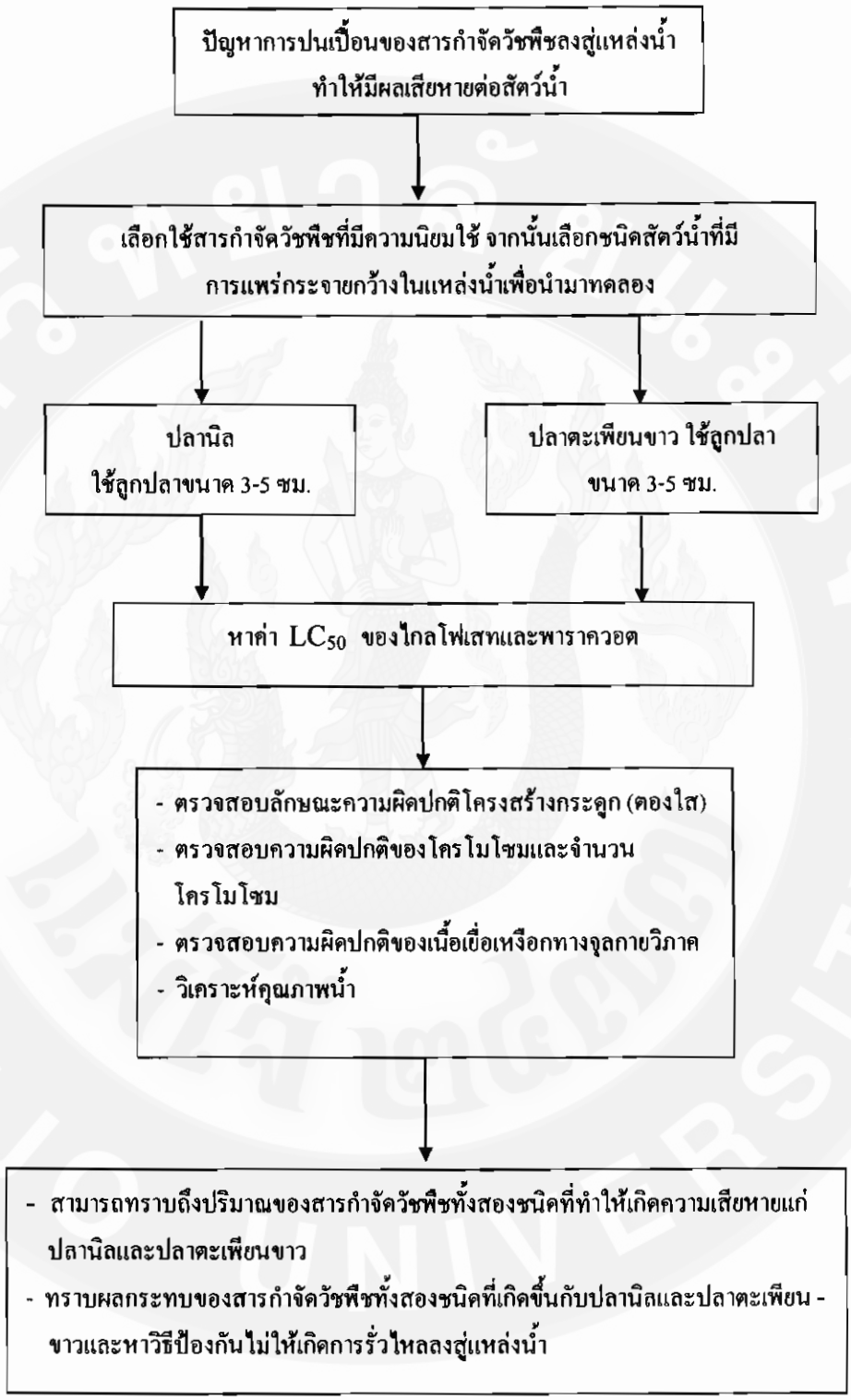
Stivari and Martins-Snatos (2003) ศึกษาโครโมโซมในปลา Rhamdia quelen จากต่าง 2 แหล่งน้ำ คือ แม่น้ำ Taquarussu และลำธาร Maringa ในประเทศบราซิล พบว่ามีจำนวนโครโมโซม 2n = 58 เท่ากันแต่มีรูปแบบคาริโอไทป์ต่างกัน

Middaugh *et al.* (1990) ได้ศึกษาความผิดปกติของกระดูกสันหลังในลูกปลา inland silversides (*Menidia beryllina*) ที่ได้รับสารกำจัดวัชพืช terbufos ระหว่างพัฒนาการของเอ็มบริโอ พบว่า ลูกปลา inland silversides (*Menidia beryllina*) ในระยะพัฒนาของเอ็มบริโอได้รับสารกำจัดวัชพืช terbufos ความเข้มข้น 50 ไมโครกรัม เป็นระยะเวลา 5 วัน หลังจากนั้นนำไปอนุบาล ในน้ำทะเลเจือจาง เป็นระยะเวลา 37 วัน เมื่อนำมา X-ray พบว่า กระดูกสันหลังของลูกปลามีการอัดตัวและรวมเข้าหากัน

ตาราง 3 มาตรฐานคุณภาพน้ำทางการประมง

คุณภาพน้ำ	ปริมาณ
1. อุณหภูมิ (Temperature)	ไม่สูงกว่าอุณหภูมิตามธรรมชาติเกิน 3 องศาเซลเซียส
2. ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	มีค่าระหว่าง 5.0 - 9.0
3. ออกซิเจนละลายน้ำ (DO)	ไม่น้อยกว่า 3.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
4. ไนเตรท (NO_3) ในหน่วยไนโตรเจน	ไม่เกินกว่า 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
5. แอมโมเนีย (NH_3) ในหน่วยไนโตรเจน	ไม่เกินกว่า 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร
6. ออร์โธฟอสเฟต	ไม่เกินกว่า 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร
7. ความกระด้างในรูป $CaCO_3$	ไม่เกินกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

ที่มา : มั่นสิน และไพพรรณ (2539)



ภาพ 2 กรอบแนวความคิดการศึกษาผลกระทบของไกลโฟเสทและพาราควอตต่อปลานิลและปลาตะเพียนขาว

บทที่ 3

วิธีดำเนินการ

1. อุปกรณ์และสารเคมี

1. ตู้กระจกขนาด 25 x 40 x 30 เซนติเมตร และ 15 x 30 x 20 เซนติเมตร
2 หัวทราย สายยาง ถังน้ำ 200 ลิตร
3. กล้องจุลทรรศน์ สไลด์ ออยหยดสไลด์
4. มีดและกรรไกร ซิลิโคน มุ้งเขียว ฟิวเจอร์บอร์ด
5. ไมโครปิเปด ถาดเพาะเชื้อ คีม
6. น้ำที่ใช้ในการทดลอง พักไว้ก่อนอย่างน้อย 3 วัน
7. อุปกรณ์เครื่องแก้ว
8. อุปกรณ์ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ
   - pH meter
   - DO meter
   - Spectophoto meter
9. สารกำจัดวัชพืชพาราควอต (กรัมม็อกโซน) และไกลโฟเสท (ราวอัพ)
10. สารเคมีในการดองใส
   - Formaldehyde 10%
   - Hydrogenperoxide 30% (H_2O_2 30%)
   - Potassiumhydroxide (KOH 2%)
   - Trypsin enzyme
   - Sodium tetraborate decahydrate (Borex)
   - Alizarin Red
   - Lithium carbonate (Li_2CO_3)
   - Glycerlin

11. สารเคมีในการย้อมสีโครโมโซม ดัดแปลงจากวิธีการของ Chen and Ebeling; Magtoon and Arai; และ Nanda *et al.* (อ้างใน เกรียงไกร, 2543)

(1) ปลาที่ใช้ในการทดลองได้แก่ ปลาตะเพียนขาวและปลานิลขนาด 3-5 เซนติเมตร

(2) สารเคมีที่ใช้ย้อมโครโมโซม

- colchicine solution 0.01 %
- Giemsa stained
- Sodium citrate solution 1%
- Acetic acid 60%
- glacial acetic acid
- 99.98%Methanol
- Monopotassium phosphate (KH_2PO_4)
- Disodium hydrogen orthophosphate (Na_2HPO_4)

12. สารเคมีในการเตรียมเนื้อเยื่อเหงือก

- Formaldehyde Solution(Buffer formalin)
- Alcohol 95% , 80%
- Xylene (1,2 – Dimethy benzene)
- Parafin
- Hematoxlin & Eosin

2. วิธีดำเนินการวิจัยและการวางแผนการทดลอง

นำปลานิลและปลาตะเพียนขาวความยาวประมาณ 3 – 5 เซนติเมตร มาพักในน้ำที่เตรียมไว้ก่อนอย่างน้อย 3 วัน แล้วจึงนำมาทดลองโดยเลี้ยงในตู้กระจกขนาด 15x30x20 เซนติเมตร เติมน้ำ 3 ลิตร จากนั้นทำการทดลองหาพิษเฉียบพลัน (LC_{50}) ของสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสทและพาราควอต เพื่อนำผลมาทดลองในขั้นต่อไป

2.1 การทดลองในปลานิลและปลาตะเพียนขาวที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสท ใช้ปลาขนาด 3 – 5 เซนติเมตร ปลานิลมีน้ำหนักเฉลี่ย 0.41 $\pm$ 0.08 กรัม และปลาตะเพียนขาวมีน้ำหนักเฉลี่ย 0.62 $\pm$ 0.06 กรัม นำมาทดลองใน ตู้กระจกขนาด 25 นิ้ว ปริมาตรน้ำ 31.25 ลิตร มีการทดลองทั้งหมด 5 ทรีตเมนต์ ๆ ละ 3 ซ้ำ ๆ ละ 60 ตัว โดยให้อาหารเม็ดสำเร็จรูปสำหรับปลาขนาด 3 – 5 เซนติเมตร ยี่ห้อซุปเปอร์-มิกซ์ (111) โปรตีนไม่ต่ำกว่า 42 เปอร์เซ็นต์ ให้ 3 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักตัว วันละ 2 ครั้ง มีหน่วยทดลองแสดงดังตารางที่ 3 และ 4

ตาราง 4 แสดงการวางแผนการทดลองของสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสทในปลานิล

ทรีตเมนต์ (3 ซ้ำ)	ความเข้มข้น (ppm)	หมายเหตุ
1	0	กลุ่มควบคุม
2	0.18	ค่า LC_0
3	0.6	ปริมาณที่ใช้จริงในพืชน้ำ (250 ซีซี ต่อน้ำ 80 ลิตร ต่อพื้นที่ 1 ไร่)
4	1.2	ปริมาณที่ใช้จริงในพืชบก (500 ซีซี ต่อน้ำ 80 ลิตร ต่อพื้นที่ 1 ไร่)
5	4.8	มาตรฐานคุณภาพน้ำแห่งประเทศไทย

ตาราง 5 แสดงการวางแผนการทดลองของสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสทในปลาตะเพียนขาว

ทรีตเมนต์ (3 ซ้ำ)	ความเข้มข้น (ppm)	หมายเหตุ
1	0	กลุ่มควบคุม
2	0.6	ปริมาณที่ใช้จริงในพืชน้ำ (250 ซีซี ต่อน้ำ 80 ลิตร ต่อพื้นที่ 1 ไร่)
3	0.98	ค่า LC_0
4	1.2	ปริมาณที่ใช้จริงในพืชบก (500 ซีซี ต่อน้ำ 80 ลิตร ต่อพื้นที่ 1 ไร่)
5	4.8	มาตรฐานคุณภาพน้ำแห่งประเทศไทย

ชุดทดสอบใช้ความเข้มข้นของสารละลาย 5 ระดับรวมทั้งกลุ่มควบคุม ซึ่งความเข้มข้นนี้ ได้มาจากการทำการทดลองขั้นต้นจากการหาค่าพิษเฉียบพลันของไกลโฟเสท (LC_0และLC_{50}) อ้างอิงจากปริมาณที่เกษตรกรใช้จริงในพืชน้ำและพืชบก และมาตรฐานคุณภาพน้ำแห่งประเทศไทย ขณะที่ทำการทดลองได้ทำการวิเคราะห์น้ำ คือ pH อุณหภูมิ ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) แอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท ออร์โธฟอสเฟตและความกระด้าง (Allen, 1989 ; Boyd, 1981 อ้างถึงใน สุฤทธิ์, 2547 ; นิพนธ์ และคณิตา, 2550)

2.2 การทดลองในปลานิลและปลาตะเพียนขาวที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชพาราควอต ใช้ปลาขนาด 3 – 5 เซนติเมตร ปลานิลมีน้ำหนักเฉลี่ย 0.39 $\pm$0.07 กรัม และปลาตะเพียนขาวมีน้ำหนักเฉลี่ย 0.57$\pm$ 0.05 กรัม นำมาทดลองในตู้กระจกขนาด 25 นิ้ว มีการทดลองทั้งหมด 5 ทรีตเมนต์ ๆ ละ 3 ซ้ำ ๆ ละ 60 ตัว โดยให้อาหารเม็ดสำเร็จรูปสำหรับปลาขนาด 3 – 5 เซนติเมตร ยี่ห้อซุปเปอร์-มิกซ์ (111) โปรตีนไม่ต่ำกว่า 42 เปอร์เซ็นต์ ให้ 3 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักตัว วันละ 2 ครั้ง มีหน่วยทดลองแสดงดังตารางที่ 5 และ 6

ตาราง 6 แสดงการวางแผนการทดลองสารกำจัดวัชพืชพาราควอตในปลานิล

ทรีตเมนต์ (3 ซ้ำ)	ความเข้มข้น (ppm)	หมายเหตุ
1	0	กลุ่มควบคุม
2	0.16	ค่า LC_0
3	0.35	ปริมาณที่ใช้จริงในพืชน้ำ (250 ซีซี ต่อน้ำ 80 ลิตร ต่อพื้นที่ 1 ไร่)
4	0.5	มาตรฐานคุณภาพน้ำแห่งประเทศไทย
5	0.7	ปริมาณที่ใช้จริงในพืชบก (500 ซีซี ต่อน้ำ 80 ลิตร ต่อพื้นที่ 1 ไร่)

ตาราง 7 แสดงการวางแผนการทดลองสารกำจัดวัชพืชพาราควอตในปลาตะเพียนขาว

ทรีตเมนต์ (3 ซ้ำ)	ความเข้มข้น (ppm)	หมายเหตุ
1	0	กลุ่มควบคุม
2	0.2	ค่า LC_0
3	0.35	ปริมาณที่ใช้จริงในพืชน้ำ (250 ซีซี ต่อน้ำ 80 ลิตร ต่อพื้นที่ 1 ไร่)
4	0.5	มาตรฐานคุณภาพน้ำแห่งประเทศไทยปริมาณที่ใช้จริงในพืชบก
5	0.7	(500 ซีซี ต่อน้ำ 80 ลิตร ต่อพื้นที่ 1 ไร่)

ชุดทดสอบใช้ความเข้มข้นของสารละลาย 5 ระดับรวมทั้งกลุ่มควบคุม ซึ่งความเข้มข้นนี้ ได้มาจากการทำการทดลองขั้นต้นจากการหาค่าพิษเฉียบพลันของพาราควอต (LC_0 และ LC_{50}) อ้างอิงจากปริมาณที่เกษตรกรใช้จริงในพืชน้ำและพืชบก และมาตรฐานคุณภาพน้ำแห่งประเทศไทย ขณะที่ทำการทดลองได้ทำการวิเคราะห์น้ำ คือ pH อุณหภูมิ ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) แอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท ออร์โธฟอสเฟตและความกระด้าง

ทำการสุ่มปลาทั้งเมื่อได้ปลาตะเพียนขาวและปลานิลที่ถูกเลี้ยงไว้ในสารกำจัดวัชพืชทั้งสองชนิดเพื่อทดสอบความผิดปกติทางด้านกายภาพโดยการศึกษาจุลกายวิภาคศาสตร์ของเหงือก การดองใส โครโมโซมและเก็บตัวอย่างปลาทุกวันที่ 3, 5, 10, 15 และ 30 ของการทดลอง พร้อมกับการวิเคราะห์คุณภาพน้ำตามที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น โดยขั้นตอนในการตรวจสอบความผิดปกติมีด้วยกันดังนี้

ส่วนที่ 1 การศึกษาความผิดปกติทางจุลกายวิภาค โดยเตรียมเนื้อเยื่อจากเหงือกปลาแบ่งเป็นขั้นตอนดังนี้ (Luna ,1965)

1.1 ขั้นตอนกรรมวิธีกับชิ้นเนื้อ

เป็นการแช่ตัวอย่างด้วยฟอร์มาลีน (formalin) แล้วดึงน้ำออกจากเนื้อตัวอย่างด้วยแอลกอฮอล์ (alcohol) ต่อจากนั้นก็ดึงแอลกอฮอล์ออกจากเนื้อตัวอย่างโดยไซลีน (xylene) ขั้นตอนสุดท้ายก็คือ นำเอาพาราฟิน (parafin) เข้าไปฝังในตัวของเนื้อตัวอย่างเพื่อให้อยู่ในสภาพเดิม ขั้นตอนทั้งหมดนี้จะใช้เวลาประมาณ 12 ชั่วโมง

1.2 ขั้นตอนการย้อมสีสไลด์

เมื่อนำเอาฟาลาฟินเข้าไปฝังตัวในเนื้อตัวอย่างแล้วก็จะได้เนื้อตัวอย่างที่มีสภาพเดิมจึงนำไปตัดให้มีความบางมากที่สุดเพื่อที่จะนำไปทำสไลด์และดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ ขั้นตอนก็คือ ละลายพาราฟินที่ฝังตัวอยู่ในเนื้อตัวอย่างด้วยไซลีน ซึ่งเป็นวิธีการดึงน้ำออกจากเนื้อเยื่อที่ติดบนสไลด์แล้วจึงล้างสไลด์ด้วยน้ำ หลังจากนั้นจึงย้อมสไลด์ด้วยสี Hematoxlin ล้างด้วยน้ำ ต่อจากนั้นล้างสไลด์ด้วย 1% acid alcohol แล้วล้างสไลด์ด้วยน้ำ ย้อมด้วยสี Eosin แล้วจึงดึงน้ำออกอีกครั้งด้วยแอลกอฮอล์ 95% สุดท้ายจึงทำความสะอาดสไลด์ด้วยคาบอไซลีน (cabolxylene) และไซลีน

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ส่วนที่ 2 นำไปศึกษาโครงสร้างกระดูก โดยวิธีการคองใส (Kelly and Bryden,1983)

การคองใสสัตว์เป็นวิธีการเก็บรักษาตัวอย่างสัตว์น้ำมีกระดูกสันหลังวิธีหนึ่ง โดยทำให้กล้ามเนื้อของสัตว์ใส การคองใสจึงมีประโยชน์ในการศึกษาทางด้านอนุกรมวิธาน การศึกษาเอ็มบริโอและการศึกษาทางกายวิภาค เช่น เปรียบเทียบชิ้นส่วนของกระดูกสัตว์แต่ละชนิด ความผิดปกติของการเจริญเติบโตของกระดูก ทราบตำแหน่งต่างๆของกระดูกได้ใกล้เคียงความจริงมากที่สุด และสามารถแสดงให้เห็นส่วนของกระดูกที่บอบบางยากจะแยกออกมาได้

ในการศึกษาครั้งนี้ จะศึกษาความผิดปกติโครงสร้างกระดูกของปลาที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสทและพาราควอตในปลานิลและปลาตะเพียนขาว โดยจะสุ่มเก็บตัวอย่างปลาเพื่อที่จะนำไปส่องดูโครงสร้างกระดูกด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 4 เท่า นับจำนวนปลาที่ผิดปกติและคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของความผิดปกติทั้งหมด นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ผลต่อไป

ส่วนที่ 3 นำไปตรวจสอบความผิดปกติของโครโมโซม วิธีการของ Brambati *et al*, 1990. (อ้างใน อำนาจ, 2548) โดยนำปลาที่ทดลองไปแช่ใน colchicine เข้มข้น 0.01% เป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง ก่อนนำเหงือกปลามาเตรียมตัวอย่างเพื่อศึกษาความผิดปกติของโครโมโซม กระบวนการจะใช้เวลาตัวอย่างละประมาณ 1 ชั่วโมง จากนั้นนำตัวอย่างที่เตรียมได้ใส่ไว้ใน microcentrifuse tube เก็บไว้ในตู้เย็น และสามารถนำไปทำสไลด์ได้ภายหลัง ซึ่งตัวอย่างที่ได้นี้สามารถเก็บไว้ได้ประมาณ 1 เดือน

การตรวจสอบโครโมโซม

ในการตรวจโครโมโซมจะทำในเซลล์ที่อยู่ในระยะเมตาเฟสเท่านั้น โดยตรวจสอบจากทุกเซลล์บนแผ่นสไลด์ที่โครโมโซมมีการซ้อนทับกันน้อยที่สุด ทำการนับจำนวนโครโมโซม ทั้งหมด 100 เซลล์ของปลาที่ทำการศึกษา เมื่อนับโครโมโซมครบ 100 เซลล์ แล้วจึงทำการเปรียบเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ โดยถือตามจำนวนโครโมโซมที่มีเปอร์เซ็นต์สูงสุดในแต่ละชนิดเป็นจำนวนโครโมโซมของปลาชนิดนั้นๆ แล้วนำภาพไปขยายด้วยคอมพิวเตอร์นับจำนวนโครโมโซม และความผิดปกติของโครงสร้างโครโมโซม

การจัดคาริโอไทป์ดัดแปลงจากวิธีของ Levan *et al.* (1964) โดยนำฟิล์มที่โครโมโซมกระจายตัวดี และชัดเจนที่สุดของปลาแต่ละชนิดมา 10 เซลล์ นำไปอัดขยาย วัดความยาวของแขนข้างสั้น (LS) และความยาวของแขนข้างยาว (LI) ซึ่งมีหน่วยเป็นความยาวเชิงสัมพัทธ์ โดยวัดจากตำแหน่ง centromere ไปยังปลายโครโมโซมทั้ง 2 ด้าน คำนวณค่า Centromeric index (C.I.) = LI/Lt (โดยที่ Lt = total length) แบ่งชนิดโครโมโซม แสดงดังตาราง 7 จับคู่โครโมโซมโดยอาศัยค่า C.I. จากนั้นเลือกภาพโครโมโซมของปลาแต่ละชนิดในระยะเมทาเฟสที่กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอจัดทำคาริโอไทป์

ตาราง 8 การแยกชนิดโครโมโซมปลาโดยใช้ค่า centromeric index (C.I.)

ชนิดโครโมโซม	สัญลักษณ์	Centromeric Index
Metacentric	m	0.50-0.59
Submetacentric	Sm	0.60-0.75
Subtelocentric	St	0.76-0.89
Acrocentric or Telocentric	a or t	มากกว่า 0.90

ที่มา : เกรียงไกร (2550)

การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

การตรวจสอบคุณภาพน้ำเป็นการตรวจสอบสมบัติเบื้องต้น ทางเคมีและกายภาพบางประการของน้ำ ได้แก่ อุณหภูมิของน้ำ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ค่าความเป็นกรด-ด่าง แอมโมเนีย และความกระด้างทั้งหมด เป็นต้น

ตาราง 9 วิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

รายการ	**วิธีวิเคราะห์**
1. อุณหภูมิ	DO meter แบบ Electronmetric Method
2. ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolve Oxygen)	DO meter แบบ Electronmetric Method
3. พีเอช (pH)	pH meter แบบ Electronmetric Method
4. แอมโมเนีย	phenate Method
5. ไนไตรท์	Colorimetric Method
6. ไนเตรท	Hydrazine Method
7. ออร์โธฟอสเฟต	Ascorbic Acid Method
8. ความกระด้างทั้งหมด	EDTA Titrimetric Method

ที่มา : มั่นสิน และไพพรรณ (2539)

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD)

1. การศึกษาพิษเฉียบพลันวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Origin version 6

2. การศึกษาจำนวนของโครโมโซมวิเคราะห์ค่าสถิติ Independent-Samples T-test ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธี One – Way ANOVA และตรวจสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยเป็นรายคู่ เมื่อพบว่ามีความแตกต่างระหว่างกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยใช้ค่าสถิติ least significant difference (LSD) เป็นค่าทดสอบเทียบกับผลต่างค่าเฉลี่ยของการทดลองที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 วิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม SPSS version 11.5

4. สถานที่ทำการทดลอง

ห้องปฏิบัติการคณะเทคโนโลยีทางการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ ห้องปฏิบัติการภาควิชากายวิภาคศาสตร์ คณะแพทย์ศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และห้องปฏิบัติการคณะสัตวแพทย์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่

5. ระยะเวลาในการวิจัย

เริ่มตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2549 และสิ้นสุดเดือนตุลาคม พ.ศ. 2550

บทที่ 4

ผลการทดลอง

การศึกษาผลกระทบของไกลโฟเสทและพาราควอตต่อปลานิลและปลาตะเพียนขาว ก่อนทำการทดลองจริงได้ทำการศึกษาเบื้องต้น ได้แก่ การศึกษาในเรื่องพิษเฉียบพลัน (LC_{50}) เพื่อที่จะได้นำผลที่ได้ไปทำการทดลองต่อ โดยในการทดลองได้ทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำตลอดการทดลอง ได้แก่ อุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าแอมโมเนีย ค่าไนไตรท์ ไนเตรท ฟอสเฟต และความกระด้างของน้ำและการศึกษาความผิดปกติของเนื้อเยื่อเหงือกทางจุลกายวิภาค ความผิดปกติของโครงสร้างโตยวิธีการดองใส การศึกษาจำนวนและความผิดปกติของโครโมโซม ซึ่งมีผลการศึกษาดังนี้

1. ผลการศึกษาความเป็นพิษเฉียบพลัน

1.1 ผลการศึกษาพิษเฉียบพลันของไกลโฟเสทต่อปลานิล ที่ 96 ชั่วโมง

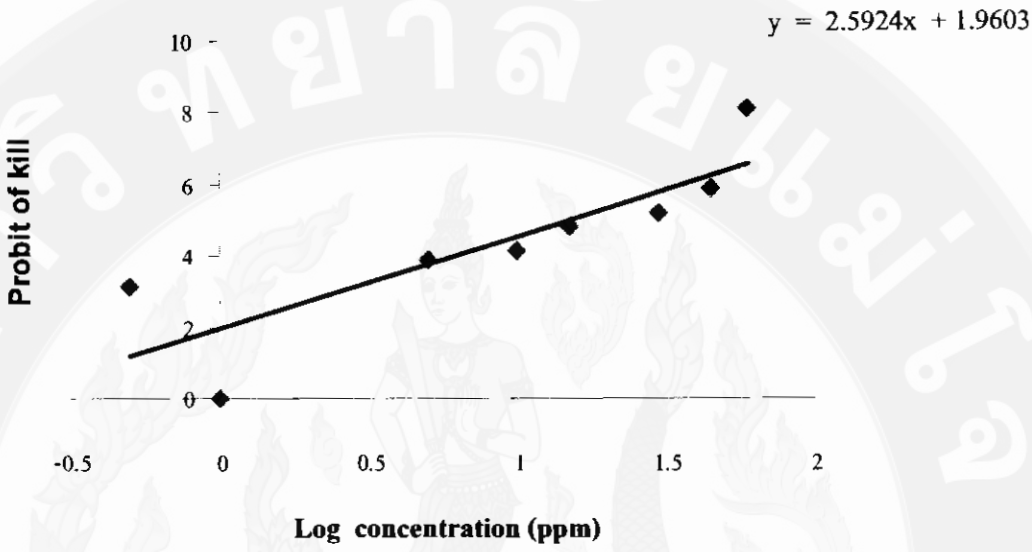
ในการศึกษาครั้งนี้นับจำนวนปลาที่ตายภายในระยะเวลา 96 ชั่วโมง ซึ่งนับตั้งแต่ชั่วโมงที่ 1, 2, 3, 4, 5, 6,12, 24, 48, 72 และ 96 จากการสังเกตพบว่า ความเข้มข้นของไกลโฟเสท 0 ppm ไม่พบการตายของปลานิล ความเข้มข้นของไกลโฟเสทที่ 0.5 ppm พบปลานิลตาย 1 ตัว คิดเป็น 3.33 เปอร์เซ็นต์ ในชั่วโมงที่ 12 ความเข้มข้นของไกลโฟเสท 5 ppm พบปลานิลตาย 4 ตัว คิดเป็น 13.33 เปอร์เซ็นต์ ในชั่วโมงที่ 1, 6 และ 12 ความเข้มข้นของไกลโฟเสท 10 ppm พบปลานิลตาย 6 ตัว คิดเป็น 20 เปอร์เซ็นต์ ในชั่วโมงที่ 2, 3, 6 และ 12 ความเข้มข้นไกลโฟเสท 15 ppm พบปลานิลตาย 13 ตัว คิดเป็น 43.33 เปอร์เซ็นต์ ในชั่วโมงที่ 1, 2, 4, 5, 6, 12, 24, 48 และ 72 ความเข้มข้นไกลโฟเสท 30 ppm พบปลานิลตาย 17 ตัว คิดเป็น 56.67 เปอร์เซ็นต์ ในชั่วโมงที่ 1, 5, 6, 12, 24, 48, 72 และ 96 ความเข้มข้นไกลโฟเสท 45 ppm พบปลานิลตาย 24 ตัว คิดเป็น 80 เปอร์เซ็นต์ ในชั่วโมงที่ 2, 3, 4, 5, 6, 12, 24, 48, 72 และ 96 และความเข้มข้นไกลโฟเสท 60 ppm พบปลานิลตาย 30 ตัว คิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ ในชั่วโมงที่ 1, 2, 4, 5, 6, 12, 24, 48, 72 และ 96 ตามลำดับ จากนั้น หาค่าเปอร์เซ็นต์การตายสะสม ดังแสดงตามตารางที่ 10 แล้วไปวิเคราะห์หาค่าพิษเฉียบ จากการสังเกตอาการของปลาขณะทำการทดลอง พบว่า ปลาจะมีอาการว่ายน้ำรวดเร็ว และฮุบอากาศอยู่ตลอดเวลา โดยเฉพาะในชั่วโมงที่ 1 ถึงชั่วโมงที่ 3 ปลาบางตัวไม่แสดงอาการ

ตาราง 10 เปอร์เซ็นต์การตายสะสมของปลานิลในการทดลองพิษเฉียบพลันที่ความเข้มข้นของไกลโฟเสทต่างกันชั่วโมงที่ 1 - 96

ความเข้มข้น / ชั่วโมงที่	1	3	6	12	24	48	72	96
0 ppm	0	0	0	0	0	0	0	0
0.5 ppm	0	0	0	3.33	0	0	0	0
5 ppm	3.33	0	6.67	13.33	0	0	0	0
10 ppm	0	10.00	13.33	20.00	0	0	0	0
15 ppm	6.67	0	23.33	33.32	36.65	40.00	43.33	0
30 ppm	3.33	0	20.00	36.63	43.29	50.00	53.33	56.67
45 ppm	0	13.33	40.00	46.62	56.61	60.00	73.26	80.00
60 ppm	10.00	0	46.62	59.94	66.60	83.25	93.24	100.00

ตาราง 11 จำนวนการตายทั้งหมดของปลานิลในการทดลองพิษเฉียบพลันที่ความเข้มข้นของไกลโฟเสทต่างกันที่ 96 ชั่วโมง

Concentration	จำนวนที่ตายทั้งหมด	%kill	log concentration	probit of kill
0 ppm	0	0.00	-	0.00
0.5 ppm	1	3.33	-0.30	3.12
5 ppm	4	13.33	0.70	3.87
10 ppm	6	20.00	1.00	4.16
15 ppm	13	43.33	1.18	4.82
30 ppm	17	56.67	1.48	5.18
45 ppm	24	80.00	1.65	5.84
60 ppm	30	100.00	1.78	8.09



กราฟที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ของค่า Probit การตายของปลานิล และค่า Log ความเข้มข้นของสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสท

สมการที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าพิษเฉียบพลัน LC_0, LC_{50} และ LC_{100} ที่ 96 ชั่วโมง คือ $y = 2.5924x + 1.9603$ แทนค่า y แล้วเข้าสมการ Log x จะได้ค่าความเป็นพิษเฉียบพลันดังนี้

LC_0 มีค่าเท่ากับ $x = 0 - 1.9603 / 2.5924$, $\log x = 0.18$ ppm

LC_{50} มีค่าเท่ากับ $x = 5 - 1.9603 / 2.5924$, $\log x = 14.88$ ppm

LC_{100} มีค่าเท่ากับ $x = 8.09 - 1.9603 / 2.5924$, $\log x = 231.47$ ppm

ดังนั้นความเข้มข้นที่ใช้ในการทดลองคือ LC_0 มีค่าเท่ากับ 0.18 ppm

ตลอดระยะเวลาการทดลองได้วัดอุณหภูมิและปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ พบว่า อุณหภูมิอยู่ในช่วง 26.1 – 27.2 องศาเซลเซียส และปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำอยู่ในช่วง 3.57 – 5.86 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังแสดงในตาราง 12

ตาราง 12 ปริมาณอุณหภูมิและค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำในการทดลองพิษเฉียบพลันของไกลโฟเสท ต่อปลานิล

ความเข้มข้น/ วันที่	1		2		3		4	
	อุณหภูมิ (° c)	DO (mg/l)	อุณหภูมิ (° c)	DO (mg/l)	อุณหภูมิ (° c)	DO (mg/l)	อุณหภูมิ (° c)	DO (mg/l)
0 ppm	26.8	4.50	26.6	4.53	26.6	4.45	27.1	5.11
0.5 ppm	26.4	5.43	26.8	5.35	26.6	5.21	26.9	4.56
5 ppm	26.9	5.30	26.6	4.58	26.7	4.47	26.6	5.86
10 ppm	26.1	4.83	26.6	5.26	26.8	5.09	26.7	4.12
15 ppm	26.2	4.82	26.5	4.00	26.6	5.02	26.6	5.52
30 ppm	26.5	3.77	26.3	4.98	26.3	4.82	26.6	4.35
45 ppm	26.4	4.5	26.5	4.65	26.2	5.46	26.3	3.57
60 ppm	27.2	4.67	26.9	4.63	26.1	3.67	26.3	5.1

1.2 ผลการศึกษาพิษเฉียบพลันของไกลโฟเสทต่อปลาตะเพียนขาว ที่ 96 ชั่วโมง

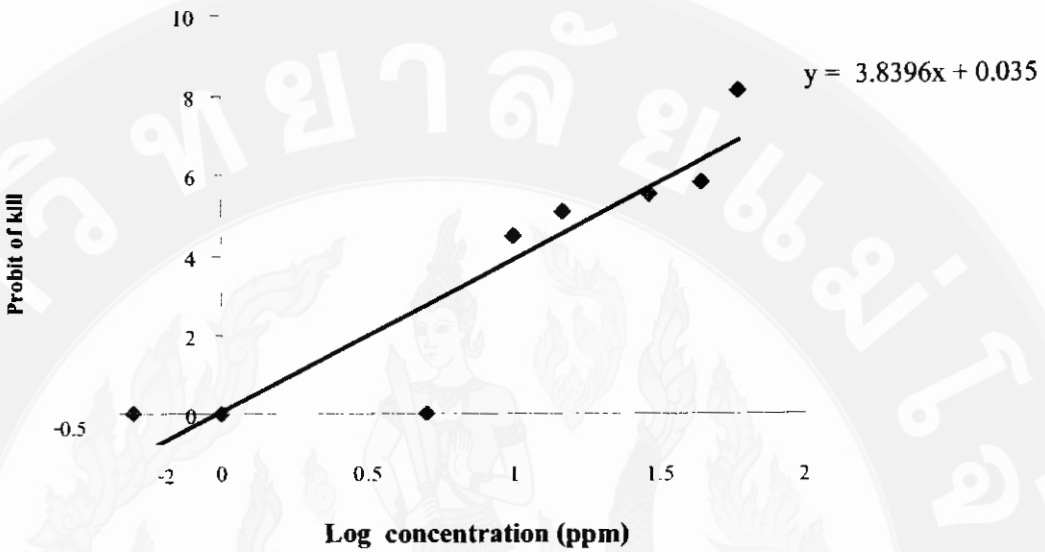
ในการศึกษาครั้งนี้นับจำนวนปลาที่ตายภายในระยะเวลา 96 ชั่วโมง นับตั้งแต่ชั่วโมงที่ 1, 2, 3, 4, 5, 6,12, 24, 48, 72 และ 96 จากการสังเกตพบว่า ความเข้มข้นของไกลโฟเสท 0, 0.5 และ 5 ppm ไม่พบการตายของปลาตะเพียนขาว ความเข้มข้นของไกลโฟเสท 10 ppm พบปลาตะเพียนขาวตาย 9 ตัว คิดเป็น 30 เปอร์เซ็นต์ ในชั่วโมงที่ 2, 3, 4, 6 และ 12 ความเข้มข้นไกลโฟเสท 15 ppm พบปลาตะเพียนขาวตาย 16 ตัว คิดเป็น 53.33 เปอร์เซ็นต์ ในชั่วโมงที่ 1, 2, 4, 5, 6, 12, 24, 48,72 และ 96 ความเข้มข้นไกลโฟเสท 30 ppm พบปลาตะเพียนขาวตาย 21 ตัว คิดเป็น 70 เปอร์เซ็นต์ ในชั่วโมงที่ 1, 2, 3, 4, 6, 12, 48, 72 และ 96 ความเข้มข้นไกลโฟเสท 45 ppm พบปลาตะเพียนขาวตาย 24 ตัว คิดเป็น 80 เปอร์เซ็นต์ ในชั่วโมงที่ 1, 2, 3, 4, 6, 24 และ 48 และความเข้มข้นไกลโฟเสท 60 ppm พบปลาตะเพียนขาวตาย 30 ตัว คิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ ในชั่วโมงที่ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 12, 24, 48, 72 และ 96 ตามลำดับ จากนั้นหาค่าเปอร์เซ็นต์การตายสะสม ดังแสดงตามตารางที่ 13 แล้วนำไปวิเคราะห์หาค่าพิษเฉียบ จากการสังเกตอาการปลา พบว่า ปลามีการว่ายน้ำอย่างรวดเร็ว และสูบอากาศตลอดเวลา โดยเฉพาะในชั่วโมงแรก ปลาบางตัวไม่แสดงอาการ

ตาราง 13 เปอร์เซ็นต์การตายสะสมของปลาตะเพียนขาวในการทดลองพิษเฉียบพลันที่ความเข้มข้นของไกลโฟเสทต่างกันชั่วโมงที่ 1 - 96

ความเข้มข้น / ชั่วโมงที่	1	3	6	12	24	48	72	96
0 ppm	0	0	0	0	0	0	0	0
0.5 ppm	0	0	0	0	0	0	0	0
5 ppm	0	0	0	0	0	0	0	0
10 ppm	0	10.00	26.64	30.00	0	0	0	0
15 ppm	3.33	0	22.31	33.33	36.63	43.29	49.95	53.28
30 ppm	10.00	30.00	40.00	43.33	0	46.62	60.00	70.00
45 ppm	16.65	40.00	66.60	0	76.59	80.00	0	0
60 ppm	6.67	30.00	56.61	66.60	70.00	76.59	89.91	100.00

ตาราง 14 จำนวนการตายทั้งหมดของปลาตะเพียนขาวในการทดลองพิษเฉียบพลันที่ความเข้มข้นของไกลโฟเสท ต่างกันที่ 96 ชั่วโมง

Concentration	จำนวนที่ตายทั้งหมด	%kill	log concentration	probit of kill
0 ppm	0	0.00	-	0
0.5 ppm	0	0.00	-1	0
5 ppm	0	0.00	-0.30	0
10 ppm	9	30.00	0	3.72
15 ppm	16	53.28	0. 70	3.72
30 ppm	21	70.00	1	4.16
45 ppm	24	80.00	1.18	3.96
60 ppm	30	100.00	1.30	4.33



กราฟที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ของค่า Probit การตายของปลาตะเพียนขาว และค่า Log ความเข้มข้นของสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสท

สมการที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าพิษเฉียบพลัน LC_0, LC_{50} และ LC_{100} ที่ 96 ชั่วโมง คือ $y = 3.8396x + 0.035$ แทนค่า y แล้วเข้าสมการ Log x จะได้ค่าความเป็นพิษเฉียบพลันดังนี้

LC_0 มีค่าเท่ากับ $x = 0 - 0.035 / 3.8396$, $\log x = 0.98$ ppm

LC_{50} มีค่าเท่ากับ $x = 5 - 0.035 / 3.8396$, $\log x = 19.64$ ppm

LC_{100} มีค่าเท่ากับ $x = 8.09 - 0.035 / 3.8396$, $\log x = 125.28$ ppm

ดังนั้นความเข้มข้นที่ใช้ในการทดลองคือ LC_0 มีค่าเท่ากับ 0.98 ppm

ตลอดระยะเวลาการทดลองได้วัดอุณหภูมิและปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ พบว่า อุณหภูมิอยู่ในช่วง 26.1 – 27.3 องศาเซลเซียส และปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำอยู่ในช่วง 3.57 – 5.60 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังแสดงในตาราง 15

ตาราง 15 ปริมาณอุณหภูมิและค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำในการทดลองพิษเฉียบพลันของไกลโฟเสท ต่อปลาตะเพียนขาว

ความเข้มข้น/วันที่	1		2		3		4	
	อุณหภูมิ (° c)	DO (mg/l)	อุณหภูมิ (° c)	DO (mg/l)	อุณหภูมิ (° c)	DO (mg/l)	อุณหภูมิ (° c)	DO (mg/l)
0 ppm	27.3	4.50	26.6	3.77	26.3	4.98	26.6	5.02
0.5 ppm	26.3	4.84	26.7	4.90	26.2	4.75	26.6	3.75
5 ppm	26.7	4.72	26.6	5.21	26.3	4.45	26.4	3.57
10 ppm	26.5	4.60	26.6	5.5	26.5	4.82	26.1	4.25
15 ppm	26.6	5.60	26.3	5.43	27.1	4.85	26.3	4.21
30 ppm	26.6	5.20	26.3	4.40	26.9	4.35	26.6	4.34
45 ppm	26.3	4.50	26.6	4.56	26.6	4.61	26.9	4.27
60 ppm	26.4	4.62	26.3	4.33	26.7	3.94	26.7	4.36

1.3 ผลการศึกษาพิษเฉียบพลันของพาราควอตต่อปลานิล ที่ 96 ชั่วโมง

ในการศึกษาครั้งนี้จะนับจำนวนปลาที่ตายภายในระยะเวลา 96 ชั่วโมง ซึ่งจะนับตั้งแต่ชั่วโมงที่ 1, 2, 3, 4, 5, 6,12, 24, 48, 72 และ 96 จากการสังเกตพบว่า ความเข้มข้นของพาราควอต 0 พีพีเอ็ม ไม่พบการตายของปลานิล ความเข้มข้นของพาราควอต ที่ 0.5 ppm พบปลานิลตาย 2 ตัว คิดเป็น 8 เปอร์เซ็นต์ ในชั่วโมงที่ 12 และ 96 ความเข้มข้นของพาราควอต 5 ppm พบปลานิลตาย 1 ตัว คิดเป็น 4 เปอร์เซ็นต์ ในชั่วโมงที่ 4 ความเข้มข้นของพาราควอต 15 ppm พบปลานิลตาย 4 ตัว คิดเป็น 16 เปอร์เซ็นต์ ในชั่วโมงที่ 3, 4, 12 และ 72 ความเข้มข้นพาราควอต 30 ppm พบปลานิลตาย 15 ตัว คิดเป็น 60 เปอร์เซ็นต์ ในชั่วโมงที่ 1, 2, 3,4, 5, 24, 72 และ 96 ความเข้มข้นพาราควอต 45 ppm พบปลานิลตาย 11 ตัว คิดเป็น 44 เปอร์เซ็นต์ ในชั่วโมงที่ 2, 3, 4, 6, 12, 48, 72 และ 96 ความเข้มข้น พาราควอต 60 ppm พบปลานิลตาย 17 ตัว คิดเป็น 68 เปอร์เซ็นต์ ในชั่วโมงที่ 2, 3, 12, 72 และ 96 และความเข้มข้น พาราควอตที่ 80 และ 100 ppm พบปลานิลตาย 25 ตัว คิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นหาค่าเปอร์เซ็นต์การตายสะสม ดังแสดงตามตารางที่ 16 แล้วไปวิเคราะห์หาค่าพิษเฉียบ จากการสังเกตอาการปลา พบว่า ปลามีอาการว่ายน้ำทุรนทุราย สูบอากาศตลอดเวลา ในชั่วโมงแรกปลาบางตัวจะจมสู่ก้นตู้และยังหายใจ บางตัวจะเสียชีวิตในเวลาต่อมา แต่บางตัวยังมีชีวิตรอด แต่จะมีอาการว่ายน้ำไม่สมดุล เมื่อใช้มือเคาะบริเวณตู้ปลาก็จะว่ายขึ้นบนผิวน้ำอย่าง

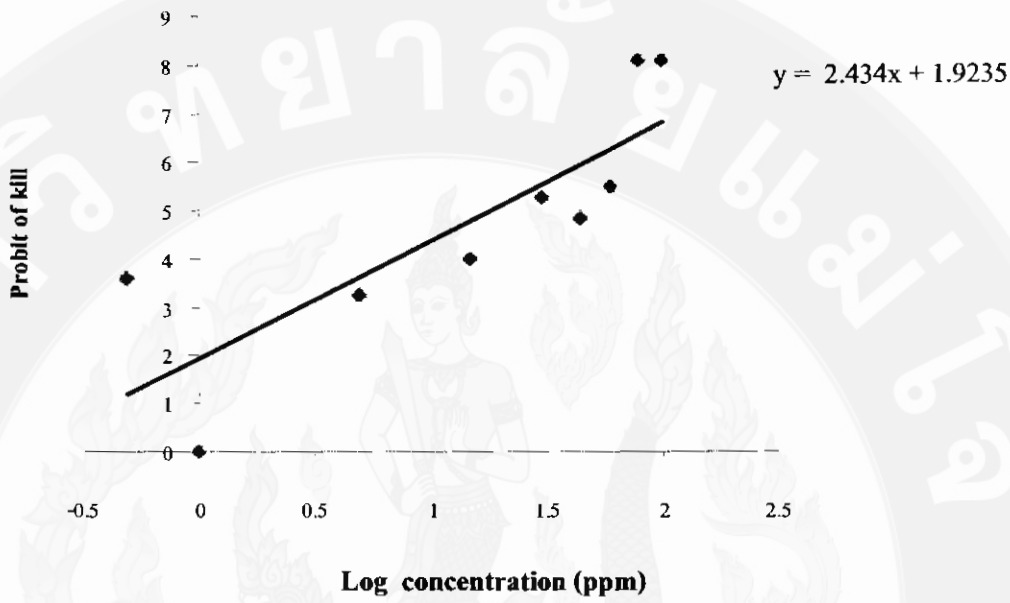
รวดเร็ว จากนั้นก็กลับจมสู่ก้นตู้เช่นเดิม ปลาบางตัวจะแสดงอาการไม่รุนแรง คือมีการว่ายน้ำเสียสมดุล และเฉื่อยตายในที่สุด

ตาราง 16 เปอร์เซ็นต์การตายสะสมของปลานิลในการทดลองพิษเฉียบพลันที่ความเข้มข้นของพาราควอตต่างกันที่ชั่วโมงที่ 1 - 96

ความเข้มข้น / ชั่วโมงที่	1	3	6	12	24	48	72	96
0 ppm	0	0	0	0	0	0	0	0
0.5 ppm	0	0	0	4.00	0	0	0	8.00
5 ppm	0	0	0	0	0	0	0	0
15 ppm	0	4.00	0	12.00	0	0	16.00	0
30 ppm	4.00	16.00	0	0	44.00	0	56.00	60.00
45 ppm	0	8.00	28.00	32.00	0	36.00	40.00	44.00
60 ppm	0	8.00	0	16.00	0	0	64.00	68.00
80 ppm	100.00	0	0	0	0	0	0	0
100 ppm	100.00	0	0	0	0	0	0	0

ตาราง 17 จำนวนการตายทั้งหมดของปลานิลในการทดลองพิษเฉียบพลันที่ความเข้มข้นของพาราควอตต่างกันที่ 96 ชั่วโมง

Concentration	จำนวนที่ตายทั้งหมด	%kill	log concentration	probit of kill
0 ppm	0	0	-	0
0.5 ppm	2	8	-0.30	3.59
5 ppm	1	4	0.70	3.25
15 ppm	4	16	1.18	4.01
30 ppm	15	60	1.48	5.25
45 ppm	11	44	1.66	4.85
60 ppm	17	68	1.78	5.47
80 ppm	25	100	1.91	8.09
100 ppm	25	100	2.00	8.09



กราฟที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ของค่า Probit การตายของปลานิล และค่า Log ความเข้มข้นของสารกำจัดวัชพืชพาราควอต

สมการที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าพิษเฉียบพลัน LC_0, LC_{50} และ LC_{100} ที่ 96 ชั่วโมง คือ $y = 2.434x + 1.9235$ แทนค่า y แล้วเข้าสมการ Log x จะได้ค่าความเป็นพิษเฉียบพลันดังนี้

LC_0 มีค่าเท่ากับ $x = 0 - 1.9235 / 2.434$, $\log x = 0.16$ ppm

LC_{50} มีค่าเท่ากับ $x = 5.00 - 1.9235 / 2.434$, $\log x = 18.36$ ppm

LC_{100} มีค่าเท่ากับ $x = 8.09 - 1.9235 / 2.434$, $\log x = 341.57$ ppm

ดังนั้นความเข้มข้นที่ใช้ในการทดลองคือ LC_0 มีค่าเท่ากับ 0.16 ppm

ตลอดระยะเวลาการทดลองได้วัดอุณหภูมิและปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ พบว่า อุณหภูมิอยู่ในช่วง 26.1 – 26.8 องศาเซลเซียส และปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำอยู่ในช่วง 3.68 – 5.53 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังแสดงในตาราง 18

ตาราง 18 ปริมาณอุณหภูมิและค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำในการทดลองพิษเฉียบพลันของพาราควอตต่อปลานิล

ความเข้มข้น/วันที่	1		2		3		4	
	อุณหภูมิ (° c)	DO (mg/l)	อุณหภูมิ (° c)	DO (mg/l)	อุณหภูมิ (° c)	DO (mg/l)	อุณหภูมิ (° c)	DO (mg/l)
0 ppm	26.3	5.31	26.3	4.67	26.7	5.26	26.6	5.46
0.5 ppm	26.5	4.04	26.7	4.21	26.7	3.68	26.2	5.52
5 ppm	25.7	4.37	26.5	4.6	26.6	3.92	26.6	4.64
15 ppm	26.1	4.5	26.6	4.64	26.5	4.05	26.4	4.93
30 ppm	26.8	3.91	26.6	3.76	26.3	4.12	26.6	4.48
45 ppm	26.3	4.26	26.3	4.73	26.3	5.25	26.5	5.53
60 ppm	26.6	4.43	26.4	4.35	26.8	4.67	26.5	4.46
80 ppm	26.6	4.13	26.5	5.39	26.5	5.05	26.7	4.71
100 ppm	26.6	4.65	26.8	4.37	26.6	5.26	26.6	4.92

1.4 ผลการศึกษาพิษเฉียบพลันของพาราควอตต่อปลาตะเพียนขาว ที่ 96 ชั่วโมง

ในการศึกษาครั้งนี้นับจำนวนปลาที่ตายภายในระยะเวลา 96 ชั่วโมง นับตั้งแต่ชั่วโมงที่ 1, 2, 3, 4, 5, 6,12, 24, 48, 72 และ 96 จากการสังเกตพบว่า ความเข้มข้นของพาราควอต 0, 0.5 และ 5 ppm ไม่พบการตายของปลาตะเพียนขาว ความเข้มข้นของพาราควอต 1 ppm พบปลาตะเพียนขาวตาย 2 ตัว คิดเป็น 10 เปอร์เซ็นต์ ในชั่วโมงที่ 6 และ 12 ความเข้มข้นพาราควอต 5 ppm พบปลาตะเพียนขาวตาย 2 ตัว คิดเป็น 10 เปอร์เซ็นต์ ในชั่วโมง ที่ 48 ความเข้มข้นพาราควอต 10 ppm พบปลาตะเพียนขาวตาย 4 ตัว คิดเป็น 20 เปอร์เซ็นต์ ในชั่วโมงที่ 6, 48 และ 96 ความเข้มข้นพาราควอต 15 ppm พบปลาตะเพียนขาวตาย 3 ตัว คิดเป็น 15 เปอร์เซ็นต์ ในชั่วโมงที่ 4 และ 24 ความเข้มข้นพาราควอต 20 ppm พบปลาตะเพียนขาวตาย 5 ตัว คิดเป็น 25 เปอร์เซ็นต์ ในชั่วโมงที่ 1, 3, 24, 48 และ 96 ความเข้มข้นพาราควอต 25 ppm พบปลาตะเพียนขาวตาย 7 ตัว คิดเป็น 35 เปอร์เซ็นต์ ในชั่วโมงที่ 2, 3, 4, 6, 12 และ 48 ความเข้มข้นพาราควอต 30 ppm พบปลาตะเพียนขาวตาย 11 ตัว คิดเป็น 55 เปอร์เซ็นต์ ในชั่วโมงที่ 1, 3, 5, 6, 24, 48 และ 96 ความเข้มข้นพาราควอต 35 ppm พบปลาตะเพียนขาวตาย 10 ตัว คิดเป็น 50 เปอร์เซ็นต์ ในชั่วโมงที่ 1, 2, 4, 5 และ 6 ความเข้มข้นพาราควอต 40 ppm พบปลาตะเพียนขาวตาย 17 ตัว คิดเป็น 85 เปอร์เซ็นต์ ในชั่วโมงที่ 1, 2, 4, 72 และ 96 และความเข้มข้น

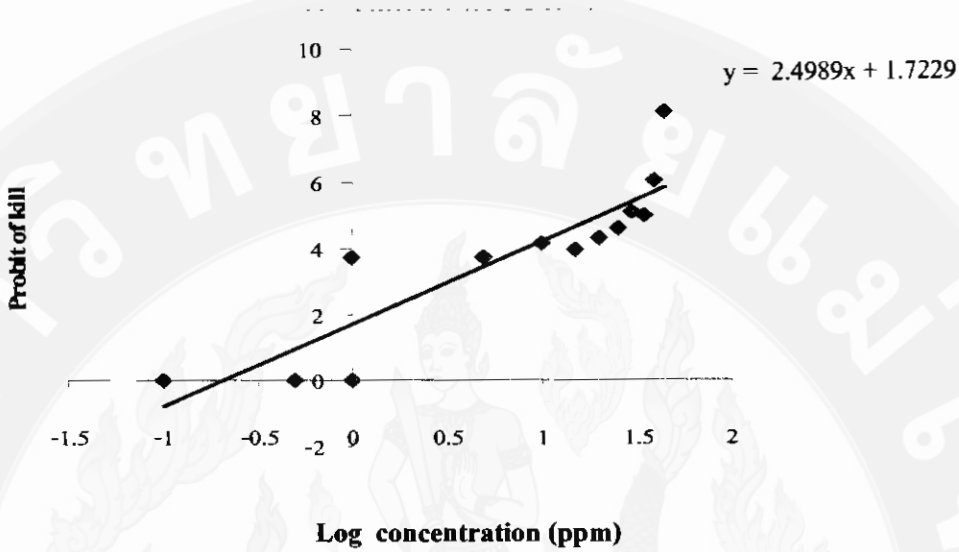
พาราควอต 45 ppm พบปลาตะเพียนขาวตาย 20 ตัว คิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ ในชั่วโมงที่ 1, 2, 3, 4, 6, 12 และ 48 ตามลำดับ จากนั้นหาค่าเปอร์เซ็นต์การตายสะสม ดังแสดงตามตารางที่ 19 แล้วไปวิเคราะห์หาค่าพิษเฉียบ จากการสังเกตอาการปลา พบว่า ปลามีอาการว่ายน้ำทุรนทุราย ฮุบอากาศตลอดเวลา ในชั่วโมงแรกปลาบางตัวจะจมสู่ก้นตู้และยังหายใจ บางตัวจะเสียชีวิตในเวลาต่อมา บางตัวยังมีชีวิตรอด แต่จะมีอาการว่ายน้ำไม่สมดุลและเสียชีวิตในเวลาต่อมาเช่นกัน เมื่อใช้มือเคาะบริเวณตู้ปลาก็จะว่ายขึ้นบนผิวน้ำอย่างรวดเร็ว และก็จะจมสู่ก้นตู้เช่นเดิมปลาบางตัวจะแสดงอาการไม่รุนแรง คือมีการว่ายน้ำเสียสมดุล และเฉื่อยตายในที่สุด

ตาราง 19 เปอร์เซ็นต์การตายสะสมของปลาตะเพียนขาวในการทดลองพิษเฉียบพลันที่ความเข้มข้นของพาราควอตต่างกันชั่วโมงที่ 1 - 96

ความเข้มข้น / ชั่วโมงที่	1	3	6	12	24	48	72	96
0 ppm	0	0	0	0	0	0	0	0
0.1 ppm	0	0	0	0	0	0	0	0
0.5 ppm	0	0	0	0	0	0	0	0
1 ppm	0	0	5.00	10.00	0	0	0	0
5 ppm	0	0	0	0	0	10.00	0	0
10 ppm	0	0	5.00	0	0	10.00	0	20.00
15 ppm	0	0	0	0	15.00	0	0	0
20 ppm	5.00	10.00	0	0	15.00	20.00	0	25.00
25 ppm	0	15.00	25.00	30.00	0	35.00	0	0
30 ppm	10.00	20.00	30.00	0	35.00	40.00	0	55.00
35 ppm	20.00	0	50.00	0	0	0	0	0
40 ppm	40.00	0	0	0	0	0	70.00	85.00
45 ppm	25.00	40.00	75.00	80.00	0	100.00	0	0

ตาราง 20 จำนวนการตายทั้งหมดของปลาตะเพียนขาวในการทดลองพิษเฉียบพลันที่ความเข้มข้นของพาราควอตต่างกันที่ 96 ชั่วโมง

Concentration	จำนวนที่ตายทั้งหมด	%kill	log concentration	probit of kill
0 ppm	0	0	0	0
0.1 ppm	0	0	-1	0
0.5 ppm	0	0	-0.30	0
1 ppm	2	10	0	3.72
5 ppm	2	10	0.70	3.72
10 ppm	4	20	1	4.16
15 ppm	3	15	1.18	3.96
20 ppm	5	25	1.31	4.33
25 ppm	7	35	1.40	4.61
30 ppm	11	55	1.48	5.13
35 ppm	10	50	1.54	5
40 ppm	17	85	1.60	6.04
45 ppm	20	100	1.65	8.09



กราฟที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ของค่า Probit การตายของปลาตะเพียนขาว และค่า Log ความเข้มข้นของสารกำจัดวัชพืชพาราควอต

สมการที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าพิษเฉียบพลัน LC_0, LC_{50} และ LC_{100} ที่ 96 ชั่วโมง คือ $y = 2.4989x + 1.7229$ แทนค่า y แล้วเข้าสมการ Log x จะได้ค่าความเป็นพิษเฉียบพลันดังนี้

LC_0 มีค่าเท่ากับ $x = 0 - 1.7229 / 2.4989$, log x = 0.20 ppm

LC_{50} มีค่าเท่ากับ $x = 5.00 - 1.7229 / 2.4989$, log x = 20.48 ppm

LC_{100} มีค่าเท่ากับ $x = 8.09 - 1.7229 / 2.4989$, log x = 353.15 ppm

ดังนั้นความเข้มข้นที่ใช้ในการทดลองคือ LC_0 มีค่าเท่ากับ 0.20 ppm

ตลอดระยะเวลาการทดลองได้วัดอุณหภูมิและปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ พบว่า อุณหภูมิอยู่ในช่วง 25.7 – 27.7 องศาเซลเซียส และปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำอยู่ในช่วง 3.97 – 5.55 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังแสดงในตาราง 21

ตาราง 21 ปริมาณอุณหภูมิและค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำในการทดลองพิษเฉียบพลันของพาราควอต ต่อปลาตะเพียนขาว

ความเข้มข้น/วันที่	1		2		3		4	
	อุณหภูมิ (° c)	DO (mg/l)	อุณหภูมิ (° c)	DO (mg/l)	อุณหภูมิ (° c)	DO (mg/l)	อุณหภูมิ (° c)	DO (mg/l)
0 ppm	26.6	4.83	26.8	5.09	26.3	5.10	26.9	4.88
0.1 ppm	26.8	4.85	26.9	5.10	26.1	4.75	26.5	4.96
0.5 ppm	26.3	5.00	27.2	5.20	26.4	5.45	26.7	5.12
1 ppm	26.8	4.60	26.1	4.96	26.6	3.97	26.6	4.47
5 ppm	26.6	4.82	26.3	4.47	26.5	5.20	26.6	4.12
10 ppm	27.3	4.63	26.5	4.58	26.8	4.83	26.5	5.31
15 ppm	26.8	4.60	26.6	5.25	26.8	4.70	26.5	4.47
20 ppm	26.5	5.54	26.3	5.26	26.5	4.63	26.9	4.58
25 ppm	26.7	5.40	26.5	5.26	25.9	5.29	25.8	5.55
30 ppm	26.3	4.10	26.8	4.67	25.7	4.68	26.5	5.10
35 ppm	26.7	5.26	26.6	5.02	25.7	5.06	26.5	5.48
40 ppm	26.8	5.34	26.6	5.26	26.6	4.18	26.6	4.66
45 ppm	27.7	5.30	26.5	5.23	26.7	5.23	26.5	5.47

2. ผลการศึกษาความผิดปกติทางจุลกายวิภาคของเนื้อเยื่อเหงือก

การศึกษาครั้งนี้ได้แบ่งการทดลองเป็น 4 การทดลอง คือ

(1) การศึกษาจุลกายวิภาคศาสตร์ของเหงือกปลานิลที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสทในความเข้มข้น 0, 0.18, 0.6, 1.2 และ 4.8 ppm

(2) การศึกษาจุลกายวิภาคศาสตร์ของเหงือกปลาตะเพียนขาวที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสทในความเข้มข้น 0, 0.6, 0.98, 1.2 และ 4.8 ppm

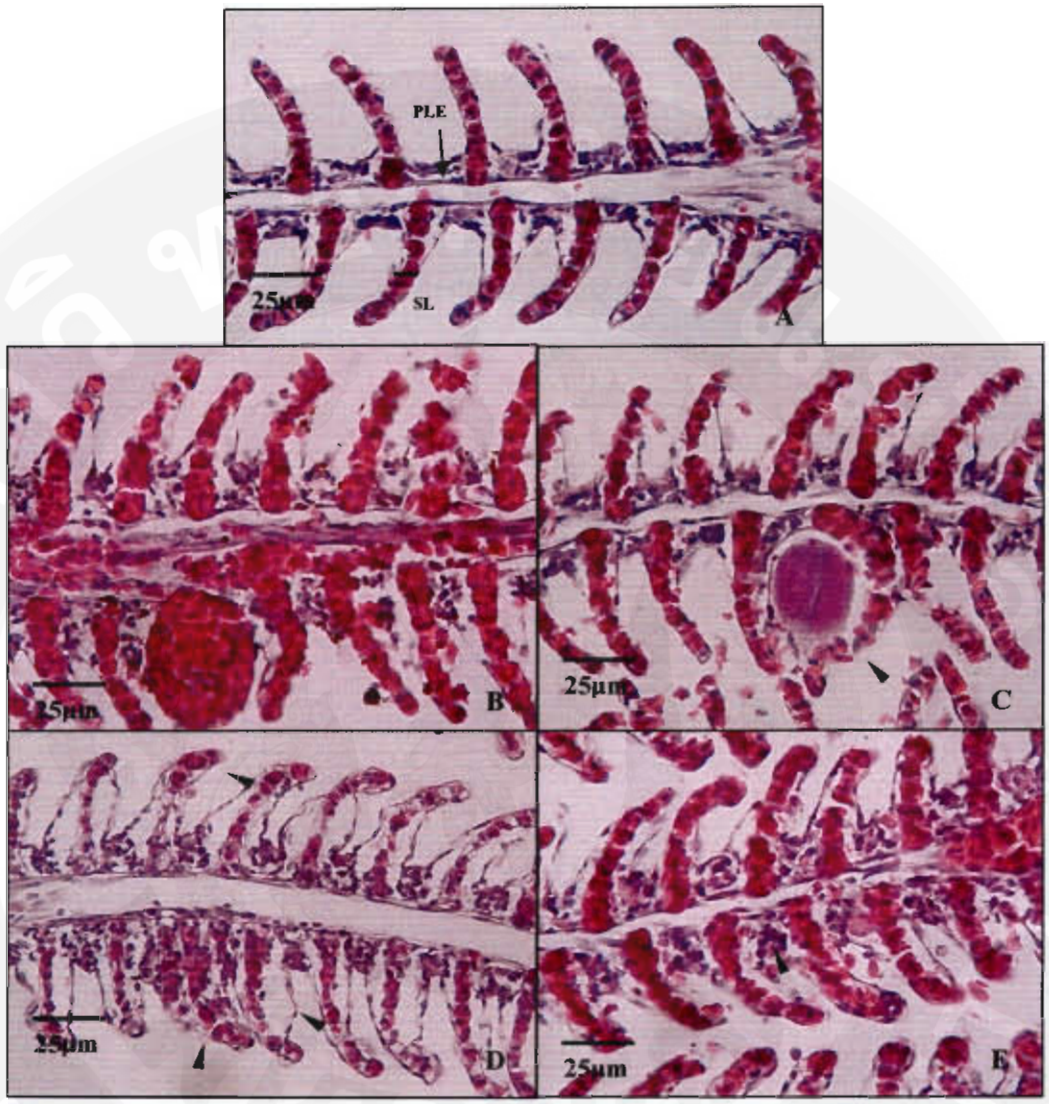
(3) การศึกษาจุลกายวิภาคศาสตร์ของเหงือกปลานิลที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชพาราควอตในความเข้มข้น 0, 0.16, 0.35, 0.5 และ 0.7 ppm

(4) การศึกษาจุลกายวิภาคศาสตร์ของเหงือกปลาตะเพียนขาวที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชพาราควอตในความเข้มข้น 0, 0.2, 0.35, 0.5 และ 0.7 ppm

ระยะเวลาการทดลองแต่ละการทดลองเท่ากับ 30 วัน โดยศึกษาความผิดปกติทางจุลกายวิภาคของเนื้อเยื่อของเหงือกปลานิลและปลาตะเพียนขาวที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสทและพาราควอดความเข้มข้นต่างกัน โดยการศึกษาจะดูในลักษณะความผิดปกติที่เกิดขึ้นกับซี่เหงือกและกิ่งเหงือก ซึ่งผลการทดลองของแต่ละความเข้มข้นที่ได้จะใช้เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม และบรรยายผลความผิดปกติที่พบ

2.1 ผลการศึกษาจุลกายวิภาคศาสตร์ของเหงือกปลานิลที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสทในความเข้มข้น 0, 0.18, 0.6, 1.2 และ 4.8 ppm ระยะเวลา 30 วัน

พบว่า กลุ่มควบคุมไม่มีการเปลี่ยนแปลง (ภาพที่ 3A) ส่วนใหญ่ในแต่ละความเข้มข้นของไกลโฟเสทความผิดปกติที่เกิดขึ้นและเห็นได้ชัดเจน คือ เหงือกปลานิลที่ได้รับไกลโฟเสทความเข้มข้น 0.18 ppm พบการหนาขึ้นของซี่เหงือก การเพิ่มจำนวนและขนาดของเซลล์ จะสังเกตเห็นว่า กิ่งเหงือกจะมีลักษณะเป็นปุ่มนูน (ภาพที่ 3B) ซึ่งแตกต่างไปจากกิ่งเหงือกของกลุ่มควบคุม เหงือกปลานิลที่ได้รับไกลโฟเสท ความเข้มข้น 0.6 ppm พบการขยายของเส้นเลือดฝอย ทำให้เกิดการคั่งของเลือด (ภาพที่ 3C) เหงือกปลานิลที่ได้รับ ไกลโฟเสทความเข้มข้น 1.2 ppm พบการรวมกันของกิ่งเหงือกบางจุด และเหยื่อบุผิวบวมทำให้เกิดช่องอากาศ (ภาพที่ 3D) และเหงือกปลานิลที่ได้รับไกลโฟเสทความเข้มข้น 4.8 ppm พบมีการหนาขึ้นของซี่เหงือกเกิดจากการเพิ่มจำนวนและขนาดของเซลล์ (ภาพที่ 3E)



ภาพที่ 3 แสดงจุลกายวิภาคของเหงือกปลานิล (40x)

A = กลุ่มควบคุม แสดงซี่เหงือก (Primary lamellar Epithelium; PLE) กิ่งเหงือก (Secondary lamellar; SL)

B = เหงือกปลานิลที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสทความเข้มข้น 0.18 ppm พบซี่เหงือกมีความหนาขึ้น (thickening) เกิดจากการเพิ่มจำนวนและขนาดของเซลล์ (hyperplasia & hypertrophy)

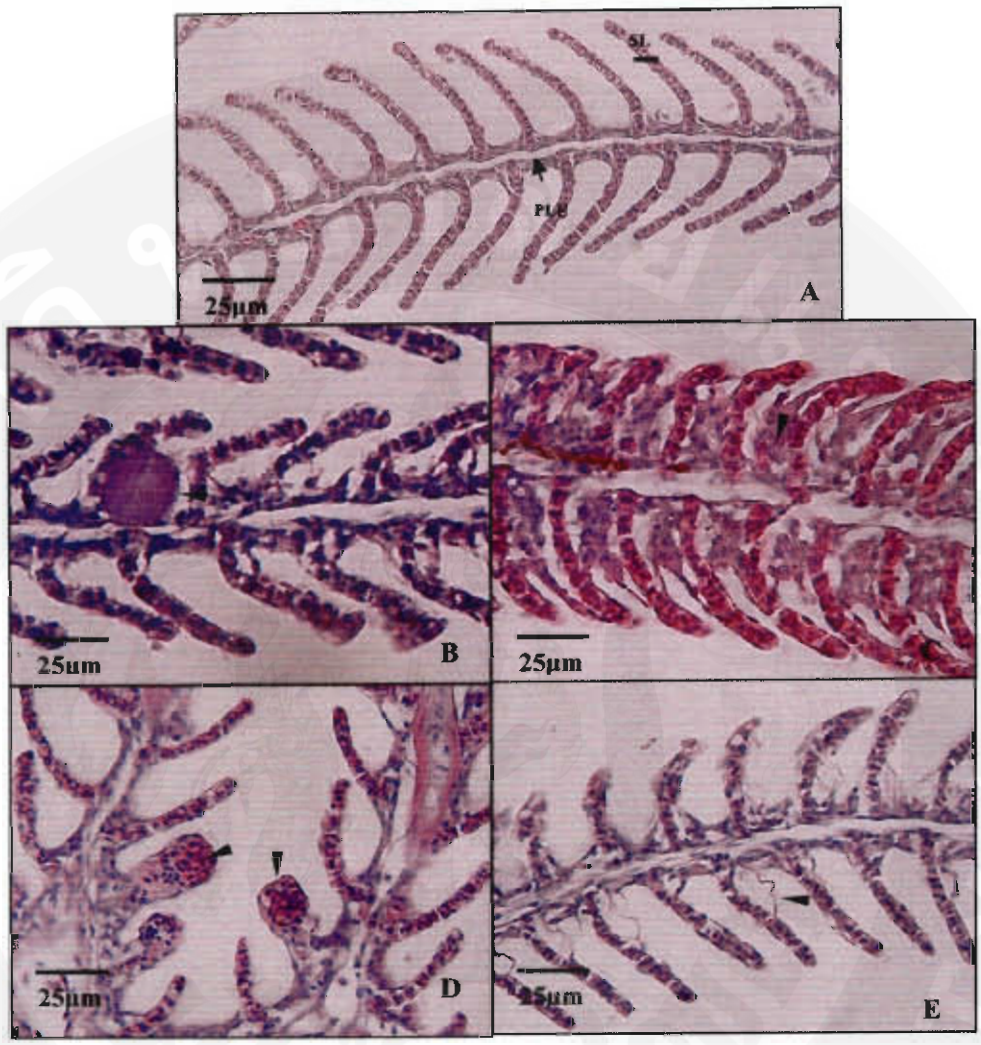
C = เหงือกปลานิลที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสทความเข้มข้น 0.6 ppm พบการขยายของเส้นเลือดฝอยบริเวณปลายกิ่งเหงือก (telangiectasia)

D = เหงือกปลานิลที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสทความเข้มข้น 1.2 ppm พบการรวมกัน (fusion) ของกิ่งเหงือก และเหยื่อบุผิว (Epithelium) มีการบวมทำให้เกิดช่องอากาศ

E = เหงือกปลานิลที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสทความเข้มข้น 4.8 ppm พบมีการหนาขึ้นของซี่เหงือก เกิดจากการเพิ่มจำนวนและขนาดของเซลล์ (hyperplasia & hypertrophy)

2.2 ผลการศึกษาจุลกายวิภาคศาสตร์ของเหงือกปลาตะเพียนขาวที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสทในความเข้มข้น 0, 0.6, 0.98, 1.2 และ 4.8 ppm ระยะเวลา 30 วัน

พบว่า กลุ่มควบคุมไม่มีการเปลี่ยนแปลง (ภาพที่ 4A) ส่วนใหญ่ในแต่ละความเข้มข้นของพาราควอตความผิดปกติที่เกิดขึ้นและเห็นได้ชัดเจน คือ ปลาตะเพียนขาวที่ได้รับไกลโฟเสทความเข้มข้น 0.98 ppm พบการขยายของเส้นเลือดฝอยบริเวณฐานกิ่งเหงือก (ภาพที่ 4B) ปลาตะเพียนขาวที่ได้รับไกลโฟเสท ความเข้มข้น 0.6 ppm พบซี่เหงือกมีความหนาขึ้น เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม และพบการเพิ่มจำนวนและขนาดของเซลล์ และหลอมรวมกันของกิ่งเหงือก (ภาพที่ 4C) ปลาตะเพียนขาวที่ได้รับไกลโฟเสทความเข้มข้น 1.2 ppm พบว่ามีการเพิ่มจำนวนและขนาดของเซลล์ จะสังเกตเห็นว่า กิ่งเหงือกจะมีลักษณะเป็นปุ่มนูน (ภาพที่ 4D) และเหงือกปลาตะเพียนขาวที่ได้รับไกลโฟเสทความเข้มข้น 4.8 ppm พบมีการบวมของเยื่อบุผิวทำให้เกิดช่องอากาศ (ภาพที่ 4E)



ภาพที่ 4 แสดงจุลกายวิภาคของเหงือกปลาตะเพียนขาว (40x)

A = กลุ่มควบคุม แสดงซี่เหงือก (Primary lamellar Epithelium; PLE) กิ่งเหงือก (Secondary lamellar; SL) epithelial cells (EC) และ pillar cells (PC)

B = เหงือกปลาตะเพียนขาวที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสทความเข้มข้น 0.98 ppm พบการขยายของเส้นเลือดฝอยบริเวณฐานกิ่งเหงือก (telangiectasia)

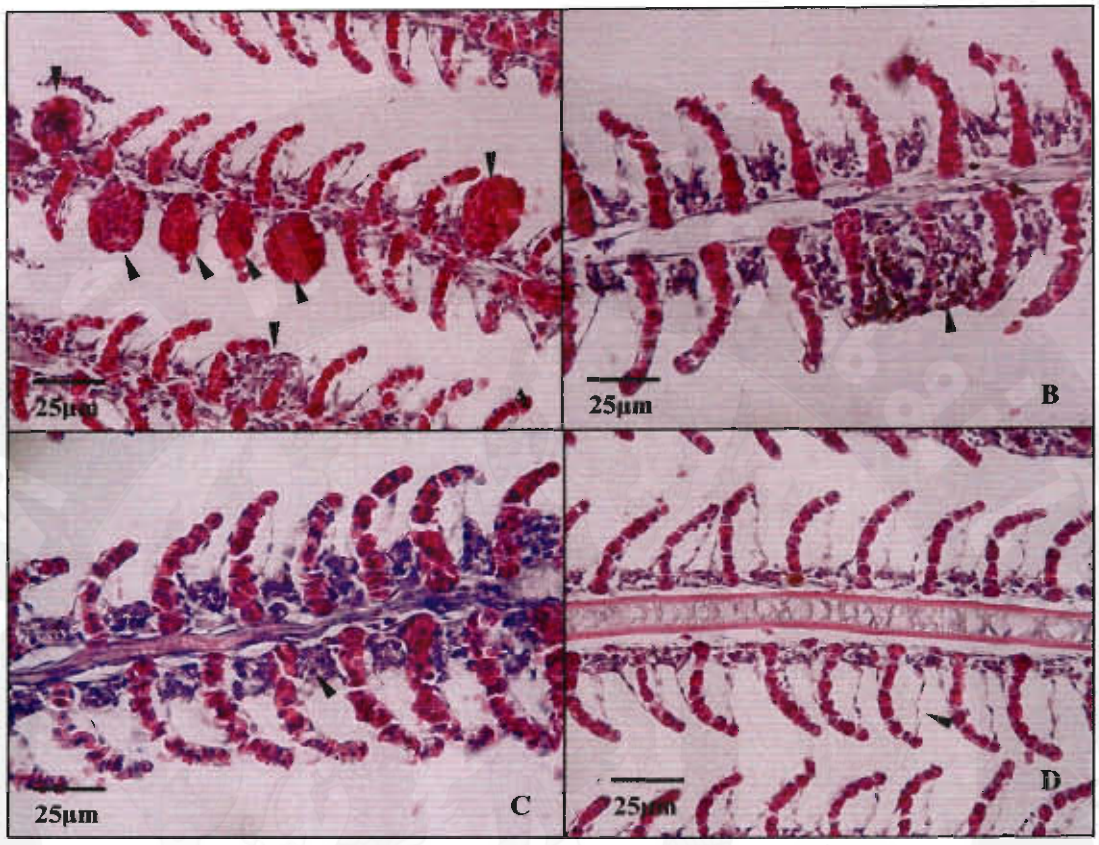
C = เหงือกปลาตะเพียนขาวที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสทความเข้มข้น 0.6 ppm พบว่าซี่เหงือกมีความหนาขึ้น (thickening) เกิดจากการเพิ่มจำนวนและขนาดของเซลล์ (hyperplasia & hypertrophy)

D = เหงือกปลาตะเพียนขาวที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสทความเข้มข้น 1.2 ppm พบว่ามีการเพิ่มจำนวนและขนาดของเซลล์ (hyperplasia & hypertrophy)

E = เหงือกปลาตะเพียนขาวที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสทความเข้มข้น 4.8 ppm พบว่าการบวมของ epithelium ทำให้เกิดช่องอากาศ

2.3 ผลการศึกษาจุลกายวิภาคศาสตร์ของเหงือกปลานิลที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชพาราควอตในความเข้มข้น 0, 0.16, 0.35, 0.5 และ 0.7 ppm ระยะเวลา 30 วัน

ส่วนใหญ่ในแต่ละความเข้มข้นของพาราควอตความผิดปกติที่เกิดขึ้นและเห็นได้ชัดเจน คือ เหงือกปลานิลที่ได้รับพาราควอตความเข้มข้น 0.16 ppm พบการเพิ่มจำนวนและขนาดของเซลล์ จะสังเกตเห็นกิ่งเหงือกจะมีลักษณะเป็นปุ่มนูน เกิดการบวมของเยื่อบุผิว ทำให้เกิดช่องอากาศภายใน และการรวมกันของกิ่งเหงือกในบางจุด (ภาพที่ 5A) เหงือกปลานิลที่ได้รับพาราควอต ความเข้มข้น 0.35 ppm พบการรวมกันของกิ่งเหงือก ซี่เหงือกมีความหนาขึ้นและเกิดการเพิ่มจำนวนและขนาดของเซลล์ จะสังเกตเห็นว่า กิ่งเหงือกจะมีลักษณะเป็นปุ่มนูน (ภาพที่ 5B) เหงือกปลานิลที่ได้รับพาราควอตความเข้มข้น 0.5 ppm พบซี่เหงือกมีความหนาขึ้น (ภาพที่ 5C) และเหงือกปลานิลที่ได้รับพาราควอตความเข้มข้น 0.7 ppm พบเยื่อบุผิวมีการบวมทำให้เกิดช่องอากาศภายใน (ภาพที่ 5D)



ภาพที่ 5 แสดงจุลกายวิภาคของเหงือกปลานิล(40x)

A = เหงือกปลานิลที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชพาราควอตความเข้มข้น 0.16 ppm พบการเพิ่มจำนวนและขนาดของเซลล์ (hyperplasia & hypertrophy) มีการพองของเยื่อบุผิว (epithelium) มีการบวมทำให้เกิดอากาศภายใน และการรวมกัน (fusion) ของกิ่งเหงือก

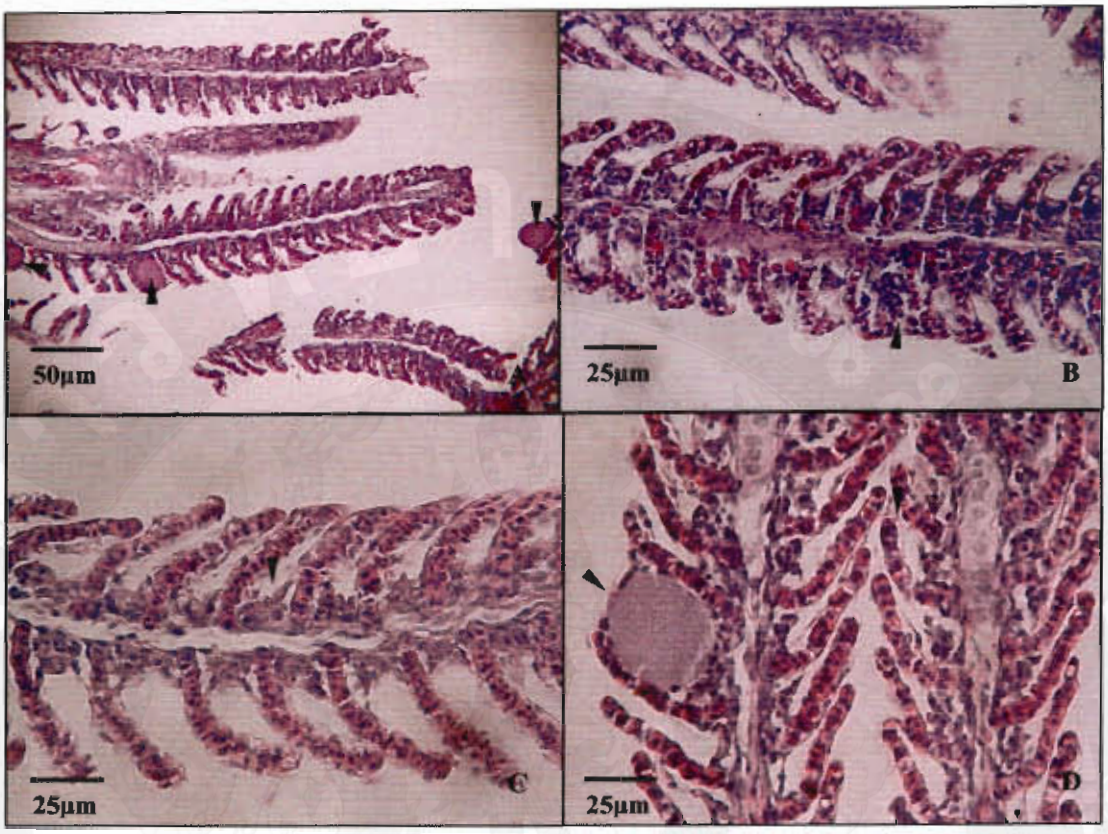
B = เหงือกปลานิลที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชพาราควอตความเข้มข้น 0.35 ppm พบการรวมกัน (fusion) ของกิ่งเหงือก ซี่เหงือกมีความหนาขึ้น (thickening) เกิดจากการเพิ่มจำนวนและขนาดของเซลล์ (hyperplasia & hypertrophy)

C = เหงือกปลานิลที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชพาราควอตความเข้มข้น 0.7 ppm พบเหยื่อบุผิว (Epithelium) มีการบวมทำให้เกิดช่องอากาศ

D = เหงือกปลานิลที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชพาราควอตความเข้มข้น 0.5 ppm พบมีการหนาขึ้น (thickening) ของซี่เหงือกเกิดจากการเพิ่มจำนวนและขนาดของเซลล์ (hyperplasia & hypertrophy)

2.4 ผลการศึกษาจุลกายวิภาคศาสตร์ของเหงือกปลาตะเพียนขาวที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชพาราควอตในความเข้มข้น 0, 0.2, 0.35, 0.5 และ 0.7 ppm ระยะเวลา 30 วัน

ส่วนใหญ่ในแต่ละความเข้มข้นของพาราควอตความผิดปกติที่เกิดขึ้นและเห็นได้ชัดเจน คือ เหงือกปลาตะเพียนขาวที่ได้รับพาราควอตความเข้มข้น 0.2 ppm พบการขยายของเส้นเลือดฝอยบริเวณฐานและปลายของกิ่งเหงือก (ภาพที่ 6A) ซึ่งแตกต่างไปจากกิ่งเหงือกของกลุ่มควบคุม เหงือกปลาตะเพียนขาว ที่ได้รับพาราควอตความเข้มข้น 0.35 ppm พบการซ้อนทับและอัดตัวกันแน่นของกิ่งเหงือก ซี่เหงือกมีความหนาขึ้น และเกิดการเพิ่มจำนวนและขนาดของเซลล์ จะสังเกตเห็นว่า กิ่งเหงือกจะมีลักษณะเป็นปุ่มนูน (ภาพที่ 6B) เหงือกปลาตะเพียนขาว ที่ได้รับพาราควอตความเข้มข้น 0.5 ppm พบการซ้อนทับและอัดตัวกันแน่นของกิ่งเหงือก (ภาพที่ 6C) และเหงือกปลาตะเพียนขาว ที่ได้รับพาราควอตความเข้มข้น 0.7 ppm พบมีการขยายของเส้นเลือดฝอยบริเวณฐานกิ่งเหงือก (ภาพที่ 6D)



ภาพที่ 6 แสดงจุลกายวิภาคของเหงือกปลาตะเพียนขาว (40x)

A = เหงือกปลาตะเพียนขาวที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชพาราควอตความเข้มข้น 0.2 ppm พบการขยายของเส้นเลือดฝอยบริเวณฐานและปลายของกิ่งเหงือก (telangiectasia)

B = เหงือกปลาตะเพียนขาวที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชพาราควอตความเข้มข้น 0.35 ppm พบการซ้อนทับและอัดตัวกันแน่นของกิ่งเหงือก และซี่เหงือก มีความหนาขึ้น (thickening) เกิดจากการเพิ่มจำนวนและขนาดของเซลล์ (hyperplasia & hypertrophy)

C = เหงือกปลาตะเพียนขาวที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชพาราควอตความเข้มข้น 0.7 ppm พบการขยายของเส้นเลือดฝอยบริเวณฐานกิ่งเหงือก (telangiectasia)

D = เหงือกปลาตะเพียนขาวที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชพาราควอตความเข้มข้น 0.5 ppm พบการซ้อนทับและอัดตัวกันแน่นของกิ่งเหงือก

3. ผลการศึกษาความผิดปกติของโครงสร้างกระดูกด้วยวิธีการดองใส

3.1 การทดลองเลี้ยงปลานิลในสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสทที่ความเข้มข้น 0,0.18,0.6,1.2 และ 4.8 ppm พบว่า กลุ่มควบคุมไม่พบความผิดปกติ ปลานิลที่ได้รับไกลโฟเสทความเข้มข้น 0.18, 0.6, 1.2 และ 4.8 ppm พบบริเวณครีบหลังและครีบหางมีความคดงอ คิดเป็น 2.22, 6.67, 6.67 และ 2.22 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

3.2 การทดลองเลี้ยงปลาตะเพียนขาวในสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสทที่ความเข้มข้น 0,0.6,0.98,1.2 และ 4.8 ppm พบว่า กลุ่มควบคุม และปลาตะเพียนขาวที่ได้รับไกลโฟเสทความเข้มข้น 0.6 ppm ไม่พบความผิดปกติ ปลาตะเพียนขาวที่ได้รับไกลโฟเสทความเข้มข้น 0.98, 1.2 และ 4.8 ppm พบบริเวณครีบหลัง ซี่โครงและครีบหางมีความคดงอ คิดเป็น 6.67, 2.22 และ 2.22 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

3.3 การทดลองเลี้ยงปลานิลในสารกำจัดวัชพืชพาราควอตที่ความเข้มข้น 0,0.16,0.35,0.5 และ 0.7 ppm พบว่า กลุ่มควบคุม และปลานิลที่ได้รับพาราควอตความเข้มข้น 0.16 ppm ไม่พบความผิดปกติ ปลานิลที่ได้รับไกลโฟเสทความเข้มข้น 0.35, 0.5 และ 0.7 ppm พบบริเวณครีบหลังและครีบหางมีความคดงอ คิดเป็น 2.22, 6.67 และ 6.67 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

3.4 การทดลองเลี้ยงปลาตะเพียนขาวในสารกำจัดวัชพืชพาราควอตที่ความเข้มข้น 0,0.2,0.35,0.5 และ 0.7 ppm พบว่า กลุ่มควบคุมและปลาตะเพียนขาวที่ได้รับพาราควอตความเข้มข้น 0.2 ppm ไม่พบความผิดปกติ ปลาตะเพียนขาวที่ได้รับพาราควอตความเข้มข้น 0.35,0.5 และ 0.7 ppm พบบริเวณกระดูกซี่โครงมีความคดงอ คิดเป็น 4.44, 6.67 และ 6.67 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

4. ผลการศึกษาจำนวนและความผิดปกติของโครโมโซมจากเหงือก

4.1 จำนวนโครโมโซม

4.1.1 ปลานิลที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสท โดยสุ่มนับทรีตเมนต์ละ 100 เซลล์ ที่ความเข้มข้น 0, 0.18, 0.6, 1.2 และ 4.8 ppm ในทุกความเข้มข้น

พบว่า จำนวนโครโมโซมมากที่สุดเท่ากับ 44 แท่ง คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ คือ กลุ่มควบคุมมี 82 เปอร์เซ็นต์ ไกลโฟเสทความเข้มข้น 0.18 ppm พบ 86 เปอร์เซ็นต์ ไกลโฟเสทความเข้มข้น 0.6 ppm พบ 85 เปอร์เซ็นต์ ไกลโฟเสทความเข้มข้น 1.2 ppm พบ 79 เปอร์เซ็นต์

และไกลโฟเสทความเข้มข้น 4.8 ppm พบ 84 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตาราง 22) จากการวิเคราะห์ทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม พบว่า ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

ตาราง 22 เปอร์เซ็นต์จำนวนโครโมโซมของปลานิลที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสทความเข้มข้นต่างกัน

ความเข้มข้น	จำนวนโครโมโซม(%)					
(ppm)	40	41	42	43	44	45
0	3	3	6	6	82	0
0.18	1	4	2	6	86	1
0.6	2	1	6	6	85	0
1.2	2	4	6	8	79	1
4.8	1	4	2	9	84	0

4.1.2 ปลาตะเพียนขาวที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสท โดยสุ่มนับทรีตเมนต์ละ 100 เซลล์ ที่ความเข้มข้น 0,0.6,0.98,1.2 และ 4.8 ppm ในทุกความเข้มข้น

พบว่า จำนวนโครโมโซมมากที่สุดเท่ากับ 50 แท่ง คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ คือ กลุ่มควบคุมมี 85 เปอร์เซ็นต์ ไกลโฟเสทความเข้มข้น 0.6 ppm พบ 86 เปอร์เซ็นต์ ไกลโฟเสทความเข้มข้น 0.98 ppm พบ 87 เปอร์เซ็นต์ ไกลโฟเสทความเข้มข้น 1.2 ppm พบ 83 เปอร์เซ็นต์ และไกลโฟเสทความเข้มข้น 4.8 ppm พบ 81 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตาราง 23) จากการวิเคราะห์ทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม พบว่า จำนวนของโครโมโซมของปลาตะเพียนขาวที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสทที่ความเข้ม 0.18 และ 0.6 ppm ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ส่วนจำนวนของโครโมโซมของปลาตะเพียนขาวที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสทที่ความเข้ม 1.2 และ 4.8 ppm มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ

ตาราง 23 เปอร์เซ็นต์จำนวนโครโมโซมของปลาตะเพียนขาวที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสท ความเข้มข้นต่างกัน

ความเข้มข้น (ppm)	จำนวนโครโมโซม(%)					
	46	47	48	49	50	51
0	1	1	4	8	85	1
0.98	2	3	4	4	87	0
0.6	0	1	6	7	86	0
1.2	2	3	9	3	83	0
4.8	2	6	4	7	81	0

4.1.3 ปลานิลที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชพาราควอต โดยสุ่มนับทรีตเมนต์ละ 100 เซลล์ ที่ความเข้มข้น 0, 0.16, 0.35, 0.5 และ 0.7 ppm ในทุกความเข้มข้น

พบว่า จำนวนโครโมโซมมากที่สุดเท่ากับ 44 แท่ง คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ คือ กลุ่มควบคุมมี 82 เปอร์เซ็นต์ พาราควอตความเข้มข้น 0.16 ppm พบ 82 เปอร์เซ็นต์ พาราควอตความเข้มข้น 0.35 ppm พบ 83 เปอร์เซ็นต์ พาราควอตความเข้มข้น 0.5 ppm พบ 75 เปอร์เซ็นต์ และพาราควอตความเข้มข้น 0.7 ppm พบ 75 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตาราง 24) จากการวิเคราะห์ทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม พบว่า ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

ตาราง 24 เปอร์เซ็นต์จำนวนโครโมโซมของปลานิลที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชพาราควอตความเข้มข้นต่างกัน

ความเข้มข้น (ppm)	จำนวนโครโมโซม(%)					
	40	**41**	**42**	**43**	**44**	**45**
0	3	3	6	6	82	0
0.16	2	5	6	5	82	0
0.35	3	4	4	6	83	0
0.5	1	5	8	10	75	1
0.7	3	4	6	10	75	2

4.1.4 ปลาตะเพียนขาวที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชพาราควอต โดยสุ่มนับทรีตเมนต์ละ 100 เซลล์ ที่ความเข้มข้น 0,0.2,0.35,0.5 และ 0.7 ppm ในทุกความเข้มข้น

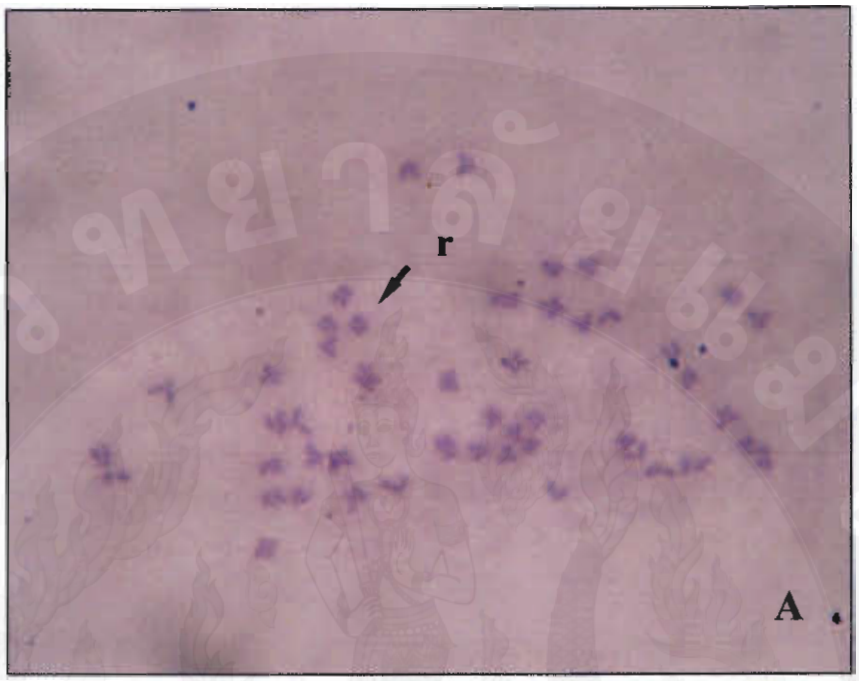
พบว่า จำนวนโครโมโซมมากที่สุดเท่ากับ 50 แท่ง คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ คือ กลุ่มควบคุมมี 85 เปอร์เซ็นต์ พาราควอตความเข้มข้น 0.2 ppm พบ 83 เปอร์เซ็นต์ พาราควอตความเข้มข้น 0.35 ppm พบ 84 เปอร์เซ็นต์ พาราควอตความเข้มข้น 0.5 ppm พบ 83 เปอร์เซ็นต์ และพาราควอตความเข้มข้น 0.7 ppm พบ 88 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตาราง 25) จากการวิเคราะห์ทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม พบว่า ปลาตะเพียนขาวที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชพาราควอตความเข้ม 0.2, 0.7 และ 0.5 ppm ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ และปลาตะเพียนขาวที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชพาราควอตที่ความเข้มข้น 0.35 ppm มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ

ตาราง 25 เปอร์เซ็นต์จำนวนโครโมโซมของปลาตะเพียนขาวที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชพาราควอต ความเข้มข้นต่างกัน

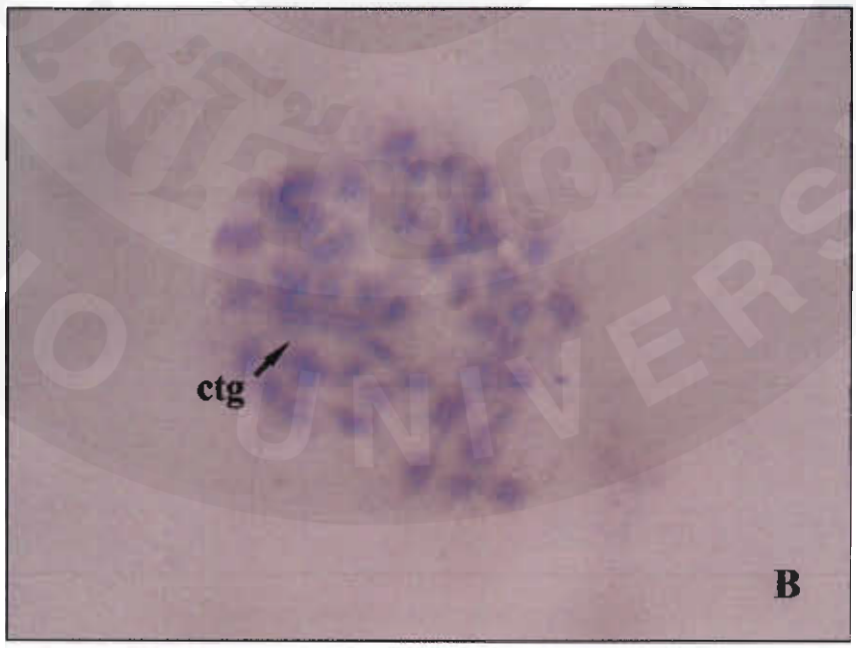
ความเข้มข้น (ppm)	จำนวนโครโมโซม(%)					
	46	**47**	**48**	**49**	**50**	**51**
0	1	1	4	8	85	1
0.2	1	2	7	6	83	1
0.35	1	6	4	4	84	1
0.5	1	4	5	7	83	0
0.7	0	1	7	4	88	0

4.2 ความผิดปกติของโครโมโซม

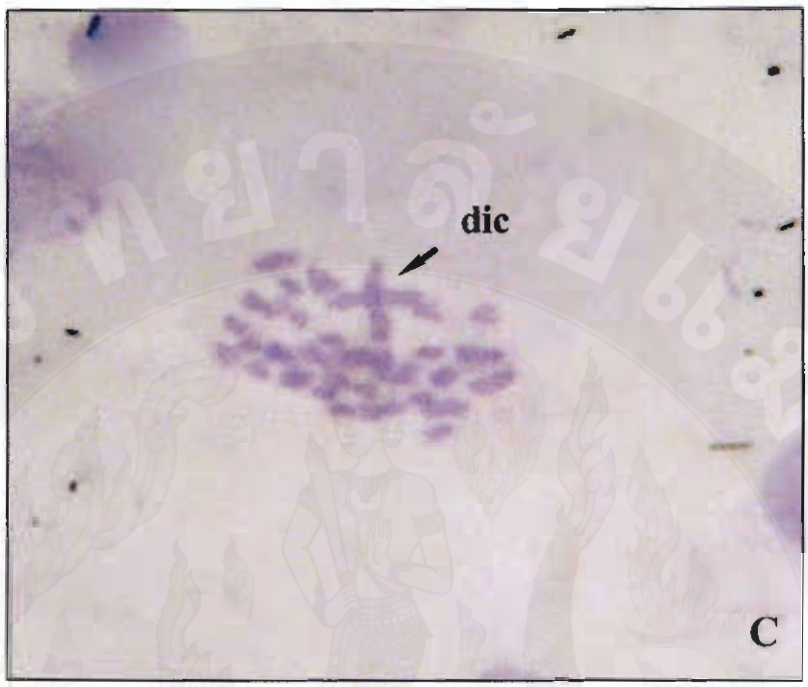
จากการศึกษาโครโมโซมของปลาทั้งสองชนิดที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสท และพาราควอต พบการเปลี่ยนแปลงของโครโมโซม 3 แบบ ได้แก่ ปลาตะเพียนขาวที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชพาราควอตความเข้มข้น 0.7 ppm พบการเปลี่ยนแปลงโครโมโซมแบบ Ring chromosome (r) ดังแสดงในภาพที่ 7 ปลานิลที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชพาราควอตความเข้มข้น 0.5 ppm พบการเปลี่ยนแปลงโครโมโซมแบบ Chromatid gap (ctg) ดังแสดงในภาพที่ 8 และปลานิลที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชพาราควอตความเข้มข้น 0.5 ppm พบการเปลี่ยนแปลงโครโมโซมแบบ Dicentric chromosome (dic) แบบ Interchang (between chromosome) ดังแสดงในภาพที่ 9



ภาพที่ 7 โครโมโซมของปลาตะเพียนขาวที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชพาราควอตความเข้มข้น 0.7 ppm พบการเปลี่ยนแปลงโครโมโซมแบบ Ring chromosome (r)



ภาพที่ 8 โครโมโซมของปลานิลที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชพาราควอตความเข้มข้น 0.5 ppm พบการเปลี่ยนแปลงโครโมโซมแบบ Chromatid gap (ctg)

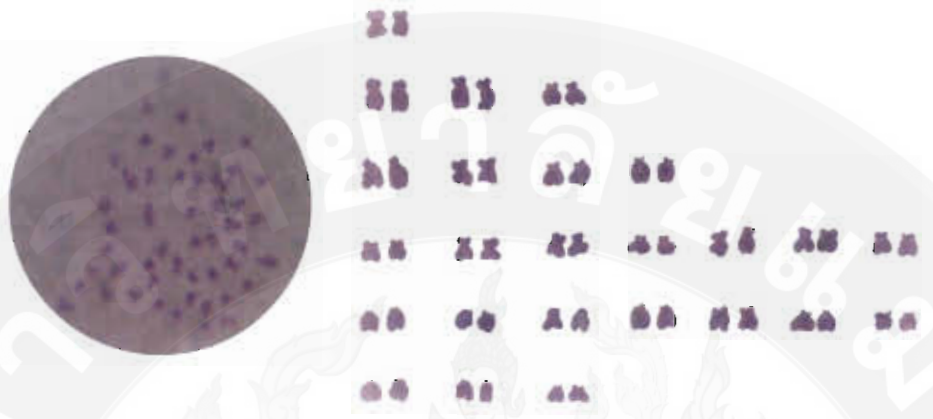


ภาพที่ 9 โครโมโซมของปลานิลที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชพาราควอตความเข้มข้น 0.5 ppm พบการเปลี่ยนแปลงโครโมโซมแบบ Dicentric chromosome (dic) แบบ Interchang (between chromosome)

4.3 การจัดคาริโอไทป์

จากการทดลองได้ทำการจัดคาริโอไทป์เพื่อหาจำนวนและรูปแบบคาริโอไทป์ของกลุ่มประชากรปลาทั้งสองชนิดที่นำมาทดลอง

ภาพที่ 10 โครโมโซมปลานิล*(Oreochromis niloticus)* ของกลุ่มควบคุม มีจำนวน 2n = 22 คู่



ภาพที่ 11 โครโมโซมปลาตะเพียนขาว *(Barbodes gonionotus)* ของกลุ่มควบคุม มีจำนวน 2n = 25 คู่

5. ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

5.1 ผลการทดลองปลานิลที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสท

การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ตลอดระยะเวลาการทดลอง 30 วัน พบว่า อุณหภูมิอยู่ในช่วง 25.90 - 27.40 องศาเซลเซียส ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) อยู่ในช่วง 2.45 – 4.86 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าพีเอช (pH) อยู่ในช่วง 7.12 – 8.00 แอมโมเนียมีค่าสูงอยู่ในช่วง 0.12 – 0.28 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าไนไตรท์อยู่ในช่วง 0.05 – 0.26 มิลลิกรัมต่อลิตร ไนเตรทอยู่ในช่วง 0.001 – 0.004 มิลลิกรัมต่อลิตร ออร์โธฟอสเฟตอยู่ในช่วง 0.10 – 0.28 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำมีความกระด้างอยู่ระดับปานกลางในทุก ความเข้มข้น อยู่ในช่วง 94.27 – 148.47 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลวิเคราะห์ทางสถิติเมื่อเปรียบกับ กลุ่มควบคุมแล้ว พบว่า อุณหภูมิในวันที่ 15 และวันที่ 30 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P< 0.05$) ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) ในวันที่ 10 และ 30 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P< 0.05$) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ ปริมาณแอมโมเนีย ในวันที่ 3 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P< 0.05$) ปริมาณ ไนไตรท์ วันที่ 3 และ 30 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P< 0.05$) ปริมาณ ไนเตรท วันที่ 3 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P< 0.05$) ปริมาณออร์โธฟอสเฟต ในวันที่ 3 , 10 และ 15 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P< 0.05$) และปริมาณ ความกระด้างไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ แสดงดังตาราง 26

ตาราง 26 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

คุณภาพน้ำ/วันทดลอง	3	5	10	15	30
อุณหภูมิ (°C)	0.171	0.913	0.789	0.008[a]	0.002[a]
ออกซิเจนที่ละลายน้ำ (mg/l)	0.076	0.201	0.021[a]	0.826	0.042[a]
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (mg/l)	0.080	0.249	0.171	0.151	0.060
แอมโมเนีย (mg-N/l)	0.012[a]	0.143	0.458	0.905	0.629
ไนไตรท์ (mg-N/l)	0.001[a]	0.395	0.377	0.122	0.048[a]
ไนเตรท (mg-N/l)	0.001[a]	0.980	0.647	0.709	0.737
ออร์โธฟอสเฟต (mg-P/l)	0.049[a]	0.070	0.017[a]	0.033[a]	0.183
ความกระด้าง (mg/l)	0.657	0.370	0.563	0.520	0.445

หมายเหตุ : a คือ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกลุ่มควบคุม ($P< 0.05$)

ตาราง 27 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำตลอดระยะเวลาการทดลองปลานิลที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสทในความเข้มข้นต่างกัน ระยะเวลา 30 วัน

สารกำจัดวัชพืช ไกลโฟเสท	Temperature (˚c)	DO mg/l	pH	Ammonia mg-N/l	Nitrite mg-N/l	Nitrate mg-N/l	Ortho – Phosphate mg-P/l	Hardness mg/l
0 ppm	26.7±0.46	3.86±0.68	7.66±0.18	0.18±0.12	0.13±0.08	0.05±0.003	0.16±0.08	119.72±18.07
0.18 ppm	26.9±0.47	3.70±0.24	7.62±0.16	0.19±0.13	0.13±0.08	0.05±0.003	0.18±0.06	117.71±12.50
0.6 ppm	26.9±0.44	3.60±0.24	7.68±0.26	0.20±0.15	0.13±0.08	0.06±0.002	0.17±0.08	124.10±16.09
1.2 ppm	26.8±0.48	3.60±0.28	7.57±0.45	0.20±0.14	0.13±0.08	0.06±0.003	0.18±0.07	120.86±14.12
4.8 ppm	26.9±0.43	3.57±0.14	7.72±0.21	0.20±0.14	0.14±0.08	0.06±0.003	0.19±0.07	125.90±17.97

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย ± SD, มาตรฐานคุณภาพน้ำ Temperature ไม่ต่ำกว่า 25.5 องศาเซลเซียส ,DO ไม่ต่ำกว่า 3 mg/l , pH ระหว่าง 6.5 - 9, Ammonia ไม่เกิน 1.1 mg-N/l ,Nitrite ไม่เกิน 0.2 mg-N/l ,Nitrate ไม่เกิน 5.0 mg-N/l, Ortho-Phosphate ไม่เกิน 0.5 mg-P/l , Hardness ไม่เกิน 130 mg/l (กรมควบคุมมลพิษ, 2543)

5.2 ผลการทดลองปลาตะเพียนขาวที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสท

การวิเคราะห์คุณภาพน้ำตลอดระยะเวลาการทดลอง 30 วัน พบว่า อุณหภูมิอยู่ในช่วง 24.80 – 29.00 ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) อยู่ในช่วง 3.77 – 5.52 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าพีเอช (pH) อยู่ในช่วง 6.89 – 8.44 แอมโมเนียอยู่ในช่วง 0.01 – 0.19 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าไนไตรท์อยู่ในช่วง 0.13 – 0.28 มิลลิกรัมต่อลิตร ไนเตรทอยู่ในช่วง 0.0001 – 0.0074 มิลลิกรัมต่อลิตร ออร์โธฟอสเฟต อยู่ในช่วง 0.03 – 0.33 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำมีความกระด้างอยู่ระดับปานกลางในทุกความเข้มข้นอยู่ในช่วง 79.12 – 114.47 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำในทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม พบว่า อุณหภูมิในวันที่ 3 , 5 , 10 , 15 และ 30 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P< 0.05$) ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในวันที่ 5 และ 15 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P< 0.05$) ปริมาณแอมโมเนียในวันที่ 3, 5 , 10 , 15 และ 30 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P< 0.05$) ปริมาณไนไตรท์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ปริมาณไนเตรท ในวันที่ 3, 5 , 10 , 15 และ 30 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P< 0.05$) ปริมาณออร์โธฟอสเฟตไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และค่าความกระด้าง ในวันที่ 3 และ 5 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P< 0.05$) แสดงดังตาราง 28

ตาราง 28 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

คุณภาพน้ำ/วันทดลอง	3	5	10	15	30
อุณหภูมิ (°C)	0.00[a]	0.00[a]	0.001[a]	0.002[a]	0.00[a]
ออกซิเจนที่ละลายน้ำ (mg/l)	0.097	0.114	0.316	0.175	0.473
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (mg/l)	0.228	0.045[a]	0.240	0.021[a]	0.121
แอมโมเนีย (mg-N/l)	0.003[a]	0.00[a]	0.001[a]	0.00[a]	0.00[a]
ไนไตรท์ (mg-N/l)	0.367	0.163	0.606	0.248	0.113
ไนเตรท (mg-N/l)	0.00[a]	0.00[a]	0.00[a]	0.00[a]	0.00[a]
ออร์โธฟอสเฟต (mg-P/l)	0.439	0.974	0.128	0.947	0.094
ความกระด้าง (mg/l)	0.041[a]	0.013[a]	0.783	0.351	0.151

หมายเหตุ : a คือ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกลุ่มควบคุม ($P< 0.05$)

ตาราง 29 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำตลอดระยะเวลาการทดลองปลาตะเพียนขาวที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสทในความเข้มข้นต่างกัน ระยะเวลา 30 วัน

สารกำจัดวัชพืช	Temperature	DO	pH	Ammonia	Nitrite	Nitrate	Ortho – Phosphate	Hardness
	(˚c)	mg/l		mg-N/l	mg-N/l	mg-N/l	mg-P/l	mg/l
ไกลโฟเสท								
0 ppm	26.7±1.08	4.51±0.45	7.81±0.38	0.15±0.07	0.18±0.06	0.04±0.03	0.21±0.13	97.89±9.42
0.6 ppm	26.5±1.05	4.42±0.30	7.50±0.36	0.11±0.03	0.19±0.06	0.04±0.02	0.21±0.11	94.54±7.08
0.98 ppm	26.2±1.18	4.62±0.53	7.87±0.25	0.15±0.03	0.20±0.06	0.04±0.03	0.22±0.11	95.75±8.18
1.2 ppm	26.1±0.92	4.43±0.21	7.76±0.12	0.13±0.03	0.20±0.06	0.005±0.03	0.22±0.12	96.02±8.05
4.8 ppm	26.3±1.11	4.89±0.38	7.78±0.39	0.13±0.02	0.20±0.06	0.005±0.03	0.23±0.13	99.32±10.20

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย ± SD, มาตรฐานคุณภาพน้ำ Temperature ไม่ต่ำกว่า 25.5 องศาเซลเซียส, DO ไม่ต่ำกว่า 3 mg/l , pH ระหว่าง 6.5 - 9 ,Ammonia ไม่เกิน 1.1 mg-N/l ,Nitrite ไม่เกิน 0.2 mg-N/l ,Nitrate ไม่เกิน 5.0 mg-N/l, Ortho-Phosphate ไม่เกิน 0.5 mg-P/l , Hardness ไม่เกิน 130 mg/l (กรมควบคุมมลพิษ, 2543)

5.3 ผลการทดลองปลานิลที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชพาราควอต

การวิเคราะห์คุณภาพน้ำตลอดระยะเวลาการทดลอง 30 วัน พบว่า อุณหภูมิอยู่ในช่วง 25.90 – 27.40 ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) อยู่ในช่วง 3.12 – 7.56 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าพีเอช (pH) อยู่ในช่วง 6.83 – 8.46 แอมโมเนียอยู่ในช่วง 0.10 – 0.26 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าไนไตรท์อยู่ในช่วง 0.03 – 0.26 มิลลิกรัมต่อลิตร ไนเตรทอยู่ในช่วง 0.001– 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร ออร์โธฟอสเฟตอยู่ในช่วง 0.11 – 0.36 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำมีความกระด้างอยู่ระดับปานกลางในทุกความเข้มข้น อยู่ในช่วง 92.92 – 171.17 ผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำเมื่อนำไปวิเคราะห์ทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม พบว่า อุณหภูมิ ในวันที่ 5 และ 10 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P< 0.05$) ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ วันที่ 30 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P< 0.05$) ค่าความเป็นกรด-ด่าง(pH) ในวันที่ 3 และ 10 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P< 0.05$) ปริมาณแอมโมเนีย ในวันที่ 30 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P< 0.05$) ปริมาณไนไตรท์ ไนเตรท ออร์โธฟอสเฟตและความกระด้าง ไม่มีความแตกต่างในทางสถิติ แสดงดังตาราง 30

ตาราง 30 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

คุณภาพน้ำ/วันทดลอง	3	5	10	15	30
อุณหภูมิ (°C)	0.072	0.007[a]	0.003[a]	0.304	0.224
ออกซิเจนที่ละลายน้ำ (mg/l)	0.686	0.254	0.364	0.301	0.009[a]
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (mg/l)	0.038[a]	0.127	0.015[a]	0.402	0.128
แอมโมเนีย (mg-N/l)	0.472	0.471	0.216	0.995	0.010[a]
ไนไตรท์ (mg-N/l)	0.932	0.532	0.631	0.690	0.396
ไนเตรท (mg-N/l)	0.089	0.415	0.080	0.737	0.804
ออร์โธฟอสเฟต (mg-P/l)	0.789	0.982	0.678	0.959	0.291
ความกระด้าง (mg/l)	0.560	0.063	0.546	0.619	0.690

หมายเหตุ : a คือ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกลุ่มควบคุม ($P< 0.05$)

ตาราง 31 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำตลอดระยะเวลาการทดลองปลานิลที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชพาราควอตในความเข้มข้นต่างกัน ระยะเวลา 30 วัน

สารกำจัดวัชพืช	Temperature (˚c)	DO mg/l	pH	Ammonia mg-N/l	Nitrite mg-N/l	Nitrate mg-N/l	Ortho – Phosphate mg-P/l	Hardness mg/l
พาราควอต								
0 ppm	26.5±0.45	4.01±0.57	7.85±0.41	0.23±0.08	0.13±0.03	0.003±0.001	0.14±0.05	119.72±18.07
0.16 ppm	26.6±0.35	4.47±0.81	7.72±0.35	0.24±0.06	0.14±0.04	0.004±0.001	0.14±0.06	126.46±28.07
0.35 ppm	26.6±0.34	4.35±1.42	7.53±0.38	0.24±0.04	0.14±0.04	0.003±0.002	0.14±0.05	121.37±12.50
0.5 ppm	26.8±0.40	4.18±1.36	7.83±0.22	0.24±0.08	0.13±0.04	0.003±0.001	0.15±0.06	127.09±18.58
0.7 ppm	26.6±0.32	5.11±1.53	7.46±0.37	0.24±0.06	0.13±0.03	0.003±0.001	0.15±0.05	125.35±20.22

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย ± SD, มาตรฐานคุณภาพน้ำ Temperature ไม่ต่ำกว่า 25.5 องศาเซลเซียส, DO ไม่ต่ำกว่า 3 mg/l, pH ระหว่าง 6.5 - 9 , Ammonia ไม่เกิน 1.1 mg-N/l ,Nitrite ไม่เกิน 0.2 mg-N/l ,Nitrate ไม่เกิน 5.0 mg-N/l, Ortho-Phosphate ไม่เกิน 0.5 mg-P/l , Hardness ไม่เกิน 130 mg/l (กรมควบคุมมลพิษ, 2543)

5.4 ผลการทดลองปลาตะเพียนขาวที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชพาราควอต

การวิเคราะห์คุณภาพน้ำตลอดระยะเวลาการทดลอง 30 วัน พบว่า อุณหภูมิอยู่ในช่วง 24.80 – 29.00 ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) อยู่ในช่วง 3.1 – 5.82 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าพีเอช (pH) อยู่ในช่วง 7.12 – 8.59 แอมโมเนียอยู่ในช่วง 0.03 – 0.35 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าไนไตรท์อยู่ในช่วง 0.08 – 0.34 มิลลิกรัมต่อลิตร ไนเตรทอยู่ในช่วง 0.001 – 0.007 มิลลิกรัมต่อลิตร ออร์โธฟอสเฟตอยู่ในช่วง 0.12 – 0.35 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำมีความกระด้างอยู่ระดับปานกลางในทุกความเข้มข้น อยู่ในช่วง 83.83 – 114.47 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำในทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม พบว่า อุณหภูมิและปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ค่าความเป็นกรด-ด่าง(pH) วันที่ 15 และ 30 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P< 0.05$) ปริมาณแอมโมเนีย วันที่ 3 และ 30 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P< 0.05$) ปริมาณไนไตรท์ ในวันที่ 3, 5, 10, 15 และ 30 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P< 0.05$) ปริมาณไนเตรท ในวันที่ 10 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P< 0.05$) ปริมาณออร์โธฟอสเฟต ในวันที่ 5, 15 และ 30 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P< 0.05$) และค่าความกระด้าง ในวันที่ 3 และ 30 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P< 0.05$) แสดงดังตาราง 32

ตาราง 32 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

คุณภาพน้ำ/วันทดลอง	3	5	10	15	30
อุณหภูมิ (°C)	0.157	0.780	0.197	0.538	0.190
ออกซิเจนที่ละลายน้ำ (mg/l)	0.146	0.812	0.978	0.834	0.846
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (mg/l)	0.345	0.592	0.385	0.033[a]	0.002[a]
แอมโมเนีย (mg-N/l)	0.028[a]	0.650	0.521	0.196	0.019[a]
ไนไตรท์ (mg-N/l)	0.00[a]	0.00[a]	0.00[a]	0.00[a]	0.00[a]
ไนเตรท (mg-N/l)	0.171	0.737	0.001[a]	0.580	0.534
ออร์โธฟอสเฟต (mg-P/l)	0.583	0.004[a]	0.729	0.00[a]	0.00[a]
ความกระด้าง (mg/l)	0.022[a]	0.333	0.828	0.455	0.009[a]

หมายเหตุ : a คือ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกลุ่มควบคุม ($P< 0.05$)

ตาราง 33 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำตลอดระยะเวลาการทดลองปลาตะเพียนขาวที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชพาราควอตในความเข้มข้นต่างกัน ระยะเวลา 30 วัน

สารกำจัดวัชพืช	Temperature (°c)	DO mg/l	pH	Ammonia mg-N/l	Nitrite mg-N/l	Nitrate mg-N/l	Ortho – Phosphate mg-P/l	Hardness mg/l
พาราควอต								
0 ppm	26.8±0.83	4.66±0.61	7.81±0.38	0.16±0.06	0.24±0.07	0.002±0.001	0.18±0.07	97.90±9.41
0.2 ppm	26.8±1.39	4.63±0.63	7.85±0.32	0.18±0.08	0.26±0.02	0.002±0.001	0.18±0.07	95.34±8.67
0.35 ppm	26.9±1.13	4.61±0.79	7.80±0.31	0.16±0.07	0.24±0.09	0.002±0.001	0.18±0.07	93.26±9.14
0.5 ppm	27.1±1.47	4.45±0.82	7.98±0.29	0.17±0.09	0.23±0.04	0.005±0.001	0.19±0.09	95.28±4.79
0.7 ppm	26.9±1.38	4.60±0.68	7.83±0.33	0.24±0.07	0.24±0.07	0.003±0.001	0.19±0.09	92.04±4.60

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย ± SD, มาตรฐานคุณภาพน้ำ Temperature ไม่ต่ำกว่า 25.5 องศาเซลเซียส, DO ไม่ต่ำกว่า 3 mg/l, pH ระหว่าง 6.5 - 9 , Ammonia ไม่เกิน 1.1 mg-N/l , Nitrite ไม่เกิน 0.2 mg-N/l , Nitrate ไม่เกิน 5.0 mg-N/l, Ortho-Phosphate ไม่เกิน 0.5 mg-P/l , Hardness ไม่เกิน 130 mg/l (กรมควบคุมมลพิษ, 2543)

บทที่ 5
วิจารณ์และสรุปผล

วิจารณ์ผล

1. การศึกษาความเป็นพิษเฉียบพลัน

ผลการศึกษาพบว่าพิษเฉียบพลันของไกลโฟเสทและพาราควอตต่อปลาตะเพียนขาวและปลานิล 96 ชั่วโมง โดยใช้ปลา ขนาด 3 – 5 เซนติเมตร หาค่า LC_{50} พบว่า การทดลองในปลานิลได้รับสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสท ปลามีค่า LC_{50} คือ 14.88 ppm การทดลองในปลานิลได้รับสารกำจัดวัชพืชพาราควอต ปลามีค่า LC_{50} คือ 18.36 ppm การทดลองในปลาตะเพียนขาวได้รับสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสท ปลามีค่า LC_{50} คือ 19.64 ppm และการทดลองในปลาตะเพียนขาวได้รับสารกำจัดวัชพืชพาราควอต ปลามีค่า LC_{50} คือ 20.48 ppm ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Babatunde *et al.* (2001) พบว่า พิษเฉียบพลันของพาราควอตต่อลูกปลานิลที่ 96 ชั่วโมง ค่า LC_{50} มีค่าเท่ากับ 11.84 มิลลิกรัมต่อลิตร สอดคล้องกับการทดลองของวรรณี และคณะ (2544) หาค่า LC_{50} ของไกลโฟเสทต่อลูกปลานิลและปลานิลที่ 96 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 16.8 ppm และ 36.8 ppm จากผลของค่า LC_{50} ของไกลโฟเสททำให้ทราบว่าปลาตัวเต็มวัยมีความทนต่อไกลโฟเสทได้มากกว่าลูกปลาและยังสอดคล้องกับลักษณะอาการของปลาที่สัมผัสกับพาราควอต ซึ่งแสดงอาการการว่ายน้ำของปลาไม่สมดุล มีการว่ายน้ำอย่างรวดเร็ว ฮุบอากาศอยู่ตลอดเวลา เหงือกและครีบมีการตกเลือด จากนั้นก็มีอาการเฉื่อยและตายในที่สุด โกศล กาลรักษ์ และโสภัชน์ แก้วงาม (2537) สังเกตพบว่า ลูกปลาช่อนที่ได้รับพิษของพาราควอต ระยะแรกจะว่ายน้ำอย่างรวดเร็ว ระยะต่อมาจะว่ายน้ำอยู่กับที่ สูญเสียการทรงตัวและตายในที่สุด

ผลจากการรายงาน ครั้งนี้ยังสอดคล้องกับการทดลองของ กิจการ และคณะ (2530) ในเรื่องของความเป็นพิษของสารกำจัดวัชพืชในน้ำ ความเป็นพิษแบบเฉียบพลันของสารกำจัดวัชพืช imazapyr ต่อปลานิล *(Sarotherodon niloticus)* และปลาตะเพียนขาว *(Puntius gonionotus)* คือหลังจากเติมสารลงไปประมาณ 10 – 15 นาที ปลาจะแสดงอาการขาดออกซิเจน คือ ลอยหัวอยู่บริเวณผิวน้ำ ในที่สุดก็เริ่มสูญเสียการทรงตัว (loss of equilibrium) ว่ายน้ำไม่มีทิศทางแน่นอน และจมลงสู่ก้นภาชนะ ในระยะนี้ปลายังสามารถหายใจได้ แต่อัตราการหายใจจะต่ำลง และมีความไวต่อการตอบสนองต่อสิ่งเร้าสูงขึ้น สังเกตได้จากการใช้แท่งแก้วคนแตะตู้กระจกเบาๆ จะพบว่าปลาที่นอนนิ่งอยู่ก้นภาชนะจะพุ่งตัวขึ้นสู่ผิวน้ำอย่างรวดเร็ว ข้อสังเกตอีกประการหนึ่งของความเป็นพิษโดยเฉพาะสารกำจัดวัชพืชพาราควอตต่อปลาทั้งสองชนิด คือ ในชุดทดลองที่มีความ

เข้มข้นของสารพิษสูงๆ ปลาตัวที่สามารถทนพิษของสารกำจัดวัชพืชได้และไม่ตายทันทีทันใด มีแนวโน้มจะกลับคืนสู่สภาพปกติได้เร็ว (recovery) ภายในเวลา 10 – 12 ชั่วโมง หลังจากสัมผัส สารกำจัดวัชพืช ซึ่งอาจจะเป็นไปได้ในแง่ที่ว่าสารกำจัดวัชพืชทั้ง 2 ชนิดนี้สามารถสลายตัวได้เร็วในสภาพแวดล้อม ซึ่งเป็นข้อดีที่ทำให้ความเป็นพิษของสารเคมี 2 ชนิด ต่อสิ่งมีชีวิตต่างๆ ในแหล่งน้ำน้อยลง แต่จะมีผลต่ออวัยวะที่ทำหน้าที่ในการแลกเปลี่ยนแก๊สอย่างไรนั้น ควรจะมีการศึกษาในด้านนี้ให้ลึกลงไปอีก

2. การศึกษาความผิดปกติทางจุลกายวิภาคของเนื้อเยื่อเหงือก

โดยทั่วไปการที่ปลาจะรับเอาสารเคมีเข้าสู่ร่างกายได้นั้นอาจเกิดได้ 3 ทางด้วยกัน คือ เหงือก (gill) ผิวหนัง (body surface) และทางเดินอาหาร (alimentary cannal) เนื่องจากเหงือกปลาเป็นส่วนของร่างกายปลาส่วนแรกๆ ที่จะต้องสัมผัสกับสิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป จากการศึกษาพบว่าทุกๆ ความเข้มข้นของสารกำจัดวัชพืชทั้ง 2 ชนิดที่ใช้ในการเลี้ยงปลาตะเพียนขาวและปลานิล ปฏิกิริยาการป้องกันสารเคมีเริ่มแรกของเหงือกปลาก็คือ การลู่เข้าหากันของเหงือก ซึ่งทำให้ปลาลดการสัมผัสกับน้ำที่ใช้ทดลองและส่งผลถึงอัตราการรับออกซิเจนที่น้อยลง และในความเข้มข้นที่สูงขึ้นจะพบเซลล์ใน gill lamellae อัดตัวกันแน่นขึ้น ซึ่งเป็นหลักฐานที่แสดงว่าการแลกเปลี่ยนแก๊ซระหว่างเลือดและน้ำเป็นไปได้ยากยิ่งขึ้น (ประมาณ พรหมสุทธิรักษ์, 2520) ความกดดันทางด้านระบบหายใจของปลานั้น นอกจากจะสังเกตได้จากอาการดิ้นรนเพื่อให้หายใจสะดวกแล้ว อาการเริ่มแรกอาจสังเกตได้จากการเปลี่ยนแปลงภายในเหงือกปลา โดยเฉพาะอย่างยิ่ง gill lamellae หรือ secondary lamellae อาทิเช่น Matthiessen and Brafield (1973) พบว่าปลา Stickleback (*Gasterosteus aculeatus*) ที่ทดลองกับโลหะสังกะสี ณ ความเข้มข้นที่ต่ำกว่าระดับอันตราย เหงือกจะมี chloride cell มากขึ้น การเปลี่ยนแปลงที่ epithelium ของเหงือกปลานี้ เป็นผลให้ gill filaments เสื่อมประสิทธิภาพ สถานะของระบบหายใจขัดข้อง และปลาต้องตายในที่สุด นอกจากนี้ก็ยังพบความผิดปกติที่เกิดขึ้นหลายแบบและมีความรุนแรงมากน้อยแตกต่างกันไป ได้แก่ การหดสั้นของ Secondary lamellae (SL) การบวมของเยื่อ Epithelium (E) การรวมติดกันของ SL การเพิ่มจำนวนของเซลล์อย่างรวดเร็ว (hyperplasia) ของ Mucous cells (MC) และ Chloride ccll (CC) การพองซึ่งเกิดจากการคั่งของเส้นเลือดฝอยบริเวณปลายและฐานของ SL เนื่องจากเส้นเลือดฝอยแตก (telangiectasia) การหนาขึ้นของ Primary lamellae epithelium (PLE) และเกิดการแตกกระจายของเซลล์ภายใน SL ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของวรรณี พฤกษศิริสมบัติ และคณะ (2544) ได้ทำการศึกษาพิษเฉียบพลันของไกลโฟเสทต่อปลานิลตรวจสอบทางจุลกายวิภาคของเนื้อเยื่อที่เกิดโรคในปลานิล โดยใช้ปลานิล 2 กลุ่ม คือ ลูกปลาและปลาตัวเต็มวัย

หาค่า LC_{50} พบว่า ลูกปลามีค่า LC_{50} คือ 17.5, 17.1, 16.9 และ 16.8 ppm ตามลำดับ ส่วนปลาเต็มวัย ค่า LC_{50} คือ 46.9, 44.4, 40.0 และ 36.8 ppm ตามลำดับ จากผลของค่า LC_{50} ทำให้ทราบว่าปลาตัวเต็มวัยมีความทนต่อราวอัพได้มากกว่าลูกปลา และนำค่า LC_{50} ที่ 96 ชั่วโมง มาตรวจสอบดูเนื้อเยื่อในส่วนของเหงือก ตับและไต พบว่า ในเหงือกมีการขยายของ cell filament อย่างรวดเร็ว cell lamellar เพิ่มจำนวนขึ้นมากอย่างผิดปกติ เยื่อบุผิวลอยยกขึ้น และมีการพองของเส้นเลือด ในตับเกิดโพรงเล็กๆ ขึ้นในเซลล์เนื้อเยื่อและมีการหดตัวของเซลล์เม็ดเลือด ส่วนในไตนั้น เกิดช่องอากาศที่เรียกว่า Bowman's space ที่กว้างมาก และมีการรวมกันเป็นหยดในเซลล์ของเยื่อบุผิว และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ortiz *et al.* (2003) ได้ทำการศึกษาการชักนำทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในเหงือก ตับ และไตของปลาไนและปลาซิวหลังได้รับลินแดนซ์ (γ-HCH) ที่รั่วไหลลงสู่แม่น้ำ Barbate ทำการศึกษาในระดับเนื้อเยื่อ พบว่ามีการหดสั้นลงของ SL การหนาขึ้นรวมกันของ Secondary lamellae (SL) การบวมของเยื่อ Epithelium (E) ทำให้เกิดช่องอากาศภายในและมีการเพิ่มจำนวนของเซลล์ที่ผิดปกติ (hyperplasia) นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับ Babatunde *et al.* (2001) ได้ศึกษาพิษเฉียบพลันของกรัมม๊อกโซนต่อปลานิล ในประเทศไนจีเรีย พบว่าที่ 96 ชั่วโมง ค่า LC_{50} ของกรัมม๊อกโซนมีค่าเท่ากับ 11.84 มิลลิกรัมต่อลิตร และจากการสังเกต เห็นความผิดปกติ ของการว่ายน้ำคือมีการว่ายน้ำอย่างรวดเร็วฮุบอากาศตลอด และที่ความเข้มข้น 12 และ 14.20 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้เกิด Filament hyperplasia และ Lamella มีความแตระแกร็น นอกจากนี้ยังทำให้เกิดการตกเลือด บริเวณครีบ ปลามีอาการว่ายน้ำเฉื่อยและตายในที่สุด สำหรับการศึกษาทางด้านจุลกายวิภาค ได้ทำการตรวจสอบเฉพาะผลกระทบที่เกิดขึ้นกับเหงือกปลาบริเวณส่วนที่เรียกว่า gill lamellae เท่านั้น ด้วยเหตุผลที่เหงือกปลาเป็นอวัยวะส่วนแรกที่จะต้องสัมผัสกับสิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปและเป็นอวัยวะที่สำคัญในระบบหายใจของปลา เหงือกจึงเป็นช่องทางที่สำคัญในการที่จะดูดซึมสารพิษ

3. การศึกษาความผิดปกติของโครงสร้างกระดูกโดยวิธีการดองใส

เทคนิคการดองใสถูกนำมาใช้ในการศึกษา เพื่อดูการเจริญและพัฒนาของโครงร่างของร่างกายสัตว์มีกระดูกสันหลัง รวมไปถึงการศึกษาลักษณะรูปแบบของการเจริญและพัฒนาที่ผิดปกติ ในการทดลองครั้งนี้ได้ศึกษาในปลานิลและปลาตะเพียนขาวซึ่งมีขนาด 3 – 5 เซนติเมตร จากการศึกษาสอดคล้องกับวิธีของ Kelly and Bryden (1983) การย้อมไม่มีการลอกหนัง และเอาอวัยวะภายในออก เนื่องจากเป็นปลาขนาดเล็ก ใช้เอนไซม์ทริปซินในการย่อย พบว่าไม่สามารถเห็นความแตกต่างของกระดูกแข็งและกระดูกอ่อนได้ เนื่องจากมีการดิดเฉพาะสีแดงของ Alizarin red คาดว่าเป็นผลมาจากในขั้นตอนการเติมสีที่ไม่ได้มีการระบุปริมาณไว้ แต่ให้ใส่จนสารละลายมีสี

ม่วงเข้ม ทำให้ไม่สามารถหาปริมาณที่เหมาะสมได้ จึงมีการดิดสีแดงเข้มมากเป็นผลให้เมื่อนำตัวอย่างมาใส่ในกลีเซอรีนสารละลายจึงมีสีม่วงเข้มเกิดจากสีย้อมจากตัวอย่างสัตว์ซึมออกมา นอกจากนี้การไม่ได้ลอกหนังและอวัยวะภายในออก มีผลทำให้เนื้อเยื่อมีลักษณะคล้ายวุ้น ลำตัวไม่ใส อวัยวะภายในบางส่วน เช่น กระเพาะอาหาร ลำไส้ ไม่สามารถถูกย่อยด้วยเอนไซม์ทริปซินได้หมด จึงเป็นสาเหตุทำให้ตัวอย่างไม่ค่อยน่าดู แต่มีข้อดีตรงที่สามารถเก็บกระดูกได้ครบถ้วนสมบูรณ์ และสามารถดูความผิดปกติของโครงสร้างกระดูกได้ง่าย และจากการทดลองพบความผิดปกติทั้งใน 4 การทดลองน้อยมาก ซึ่งความผิดปกติที่พบอาจจะเนื่องจากความผิดปกติที่เกิดจากพันธุกรรม และการจัดการฟักไข่ที่ไม่เหมาะสม (กรมประมง, 2551) ทำให้พบในปริมาณที่น้อยและเมื่อสุ่มเก็บปลาจะพบแค่บางวันที่สุ่มเก็บปลาเท่านั้น ดังนั้น ยังไม่สามารถบ่งชี้ได้ว่าความผิดปกติที่เกิดขึ้น เนื่องจากสารกำจัดวัชพืชทั้ง 2 ชนิด

4. การศึกษาความผิดปกติของโครโมโซมจากเหงือก

ในการทดลองครั้งนี้นำเซลล์บริเวณเหงือกมาศึกษา ซึ่งจากการทดลองของ Sabti (1985) พบว่าเซลล์บริเวณเหงือกเป็นบริเวณที่เซลล์มีการแบ่งตัวน้อยเมื่อเทียบกับเซลล์บริเวณไตเหงือกมีการสัมผัสและแลกเปลี่ยนก๊าซ ดังนั้นจึงสามารถสัมผัสกับสารได้โดยตรง ผลการศึกษาพบว่าในแต่ละการทดลองจำนวนโครโมโซมปลาไม่มีความแตกต่างกัน ซึ่งปลาตะเพียนขาวมีจำนวนโครโมโซมส่วนใหญ่อยู่ที่ 2n = 50 ประกอบด้วยรูปแบบโครโมโซม คือ 1m+3sm + 4st + 17a ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ เกรียงไกร สีดะพันธุ์ และทักขิณา เหมยคำ (2547) พบว่า ปลาในวงศ์ Cyprinidae มีจำนวนโครโมโซม 2n = 50 แต่มีรูปแบบคาริโอไทป์ต่างกัน เนื่องจาก ชนิดของปลาเป็นปลาต่างกลุ่มประชากรกัน

ปลานิลมีจำนวนโครโมโซมส่วนใหญ่อยู่ที่ 2n = 44 ประกอบด้วยรูปแบบโครโมโซม คือ 4sm + 8st + 10a ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของเกรียงไกร และวรางคณา (2550) พบว่าปลาในกลุ่ม Tilapias มีจำนวนโครโมโซม 2n = 44 ถึง 2n = 48 ซึ่งสอดคล้องกับ Chew *et al.* 2002. (อ้างใน เกรียงไกร และวรางคณา, 2550) และพบว่าเพศผู้ และเพศเมีย แต่ละชนิดมีคาริโอไทป์เหมือนกัน แต่ในปลาต่างชนิดกันพบว่ารูปแบบของคาริโอไทป์ต่างกัน ดังเช่นการศึกษาของ Stivari and Martins-Snatos (2004) ในปลา Rhamdia quelen จากต่าง 2 แหล่งน้ำ คือ แม่น้ำ Taquarussu และลำธาร Maringa ในประเทศบราซิล พบว่ามีจำนวนโครโมโซม 2n = 58 เท่ากันแต่มีรูปแบบคาริโอไทป์ต่างกัน

ส่วนความผิดปกติของโครโมโซมพบอยู่ในการทดลองเลี้ยงปลาตะเพียนขาวในสารกำจัดวัชพืชพาราควอตพบความผิดปกติที่เกิดขึ้นในความเข้มข้นที่ 0.7 ppm

แบบ Ring chromosome (r) และการทดลองเลี้ยงปลานิลในสารกำจัดวัชพืชพาราควอตพบความผิดปกติที่เกิดขึ้นในความเข้มข้นที่ 0.5 ppm แบบ Chromatid gap (ctg) และ Dicentric chromosome (dic) ชนิด Interchang (between ehromosome) ซึ่งจากการศึกษาครั้งนี้ พบความผิดปกติของโครโมโซมน้อยมาก อาจเนื่องมาจากความผิดปกติที่เกิดขึ้นไม่ได้เกิดมาจากการเลี้ยงในสารกำจัดวัชพืชแต่เกิดขึ้นเนื่องจากพันธุกรรมที่มีมาแต่กำเนิด

สรุปผล

1. การศึกษาค่าความเป็นพิษเฉียบพลัน

1.1 การศึกษาในปลานิลที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสท LC_0, LC_{50} , LC_{100} มีค่าเท่ากับ 0.18, 14.88 และ 231.47 ppm ตามลำดับ

1.2 การศึกษาในปลาตะเพียนขาวที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสท LC_0, LC_{50}, LC_{100} มีค่าเท่ากับ 0.98, 19.64 และ 125.28 ppm ตามลำดับ

1.3 การศึกษาในปลานิลที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชพาราควอต LC_0, LC_{50} , LC_{100}, มีค่าเท่ากับ 0.16, 18.36 และ 341.57 ppm ตามลำดับ

1.4 การศึกษาในปลาตะเพียนขาวที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชพาราควอต LC_0, LC_{50} , LC_{100} มีค่าเท่ากับ 0.20, 20.48 และ 353.15 ppm ตามลำดับ

2. การศึกษาความผิดปกติทางจุลกายวิภาคของเนื้อเยื่อเหงือก

สารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสทและพาราควอตชักนำให้เกิดความเสียหายของเนื้อเยื่อเหงือกปลาทั้งสองชนิด คือ พบการหนาขึ้นของซี่เหงือก การเพิ่มจำนวนและขนาดของเซลล์ กิ่งเหงือกมีลักษณะปุ่มนูน มีการขยายของเส้นเลือดฝอย ทำให้เกิดการคั่งของเลือด มีการหลอดรวมกันของกิ่งเหงือกบางจุด และเยื่อบุผิวบวมทำให้เกิดช่องอากาศภายใน

3. การศึกษาความผิดปกติด้วยวิธีดองใส ลักษณะความผิดปกติ คือ การคดงอของกระดูกซี่โครง รวมทั้งครีบหลังและครีบหาง และไม่สามารถสรุปได้ว่าเป็นความผิดปกติที่เป็นผลมาจากสารกำจัดวัชพืชทั้งสองชนิด

4. การศึกษาจำนวนและความผิดปกติของโครโมโซมเหงือก

4.1 การศึกษาในปลานิลที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสท จำนวนโครโมโซมมีเท่ากับ 44 แท่ง และไม่พบความผิดปกติของโครโมโซม

4.2 การศึกษาในปลาตะเพียนขาวที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสท จำนวนโครโมโซมมีเท่ากับ 50 แท่ง และไม่พบความผิดปกติของโครโมโซม

4.3 การศึกษาในปลานิลที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชพาราควอต จำนวนโครโมโซมมีเท่ากับ 44 แท่ง และพบความผิดปกติของโครโมโซมแบบ Chromatid gap (ctg) และ Dicentric chromosome (dic) แบบ Interchange (between chromosome) ที่ความเข้มข้น 0.5 ppm

4.4 การศึกษาในปลาตะเพียนขาวที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชพาราควอต จำนวนโครโมโซมมีเท่ากับ 50 แท่ง และพบความผิดปกติของโครโมโซมแบบ Ring chromosome (r) ที่ความเข้มข้น 0.7 ppm

บรรณานุกรม

กรมควบคุมมลพิษ. 2543. **มาตรฐานคุณภาพน้ำและเกณฑ์ระดับคุณภาพน้ำในประเทศไทย.** กรุงเทพฯ: กรม.

กรมประมง. 2551. **โรคสัตว์น้ำ.** กรุงเทพฯ: กรม.

กิจการ ศุภมาตย์ และคณะ. 2530. **ความเป็นพิษของสารกำจัดวัชพืชในน้ำ I ความเป็นพิษแบบเฉียบพลันของสาร imazapyr ต่อปลานิล *(Sarotherodon niloticus)* และปลาตะเพียนขาว *(Puntius gonionotus)*.** สงขลา: ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่.

เกรียงไกร สีตะพันธุ์. 2543. **การเปรียบเทียบคาริโอไทป์ของปลาดุกอุย ปลาดุกยักษ์และปลาดุกบิ๊กอุย.** เชียงใหม่: ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

เกรียงไกร สีตะพันธุ์ และทักชิณา เหมยคำ. 2547. คาริโอไทป์ของปลา 10 ชนิดในวงศ์ Cyprinidae. **วิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร**, 22, ฉบับพิเศษ : 92-101.

เกรียงไกร สีตะพันธุ์ และวรางคณา พระคุณ. 2550. **คาริโอไทป์ของปลานิล ปลาหมอเทศและปลานิลแดง.** พะเยา: สำนักวิชาเกษตรศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร วิทยาเขตสารสนเทศพะเยา.

โกศล กาลรักษ์ และโสภัชน์ แก้วงาม. 2537. **พิษเฉียบพลันของพาราควอตต่อลูกปลาช่อน.** กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ทศพล พรพรหม. 2545. **สารกำจัดวัชพืช:หลักการและกลไกการทำลาย.** กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นวลศรี ทยาพัชร. 2533. **รายงานวิชาการ ปัญหาสารพิษทางการเกษตรในประเทศไทย.** กรุงเทพฯ: กองวัตถุมีพิษการเกษตร กรมวิชาการเกษตร.

นิพนธ์ ตังคณานุรักษ์ และคณิตา ตังคณานุรักษ์. 2550. **หลักการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมี.** กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

บรรจง จำนงศิตธรรม และคณะ. 2545. **พิษเฉียบพลันของ Dimethyl 2,2,2 Trichloro – 1 hydroxyethyl phosphonate (Tricholorfon) ต่อลูกปลาตะเพียนขาววัยอ่อนและสัตว์น้ำบางชนิด.** อุทัยธานี: สถานีประมงน้ำจืดจังหวัดอุทัยธานี.

ประมาณ พรหมสุทธิรักษ์. 2520. **การศึกษาเหงือกของปลาตะเพียนขาว (*Puntius gonionotus*) ที่ได้รับผลกระทบจากทองแดงด้วยอิเล็คตรอนไมโครสโคป**. กรุงเทพฯ: ภาควิชาชีววิทยาประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และไพพรรณ พรประภา. 2539. **การจัดการคุณภาพน้ำและการบำบัดน้ำเสียในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำอื่นๆ**. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

วจี ฟ้าประทายชัย. 2547. **ผลของยาปราบวัชพืชกรัมม็อกโซน (Gramoxone) ต่อตัวอ่อนกบนา (*Haplobatrachus rugulosa*)**. เชียงใหม่: ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

วรรณี พฤกษศิริสมบัติ และคณะ. 2544. **ผลทางจุลกายวิภาคศาสตร์ของราวอัพ (ไกลโฟเสท) ต่อปลานิล (*Oreochromis niloticus*)**. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยมหิดล.

วิทูร อัตนโถ และ ไพโรจน์ อุ่นสมบัติ. 2529. **พิษวิทยาคลินิก : ยาปราบศัตรูพืช**. กรุงเทพฯ: คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล.

ศักดา ศรีนิเวศน์. 2546. **เอกสารประกอบการปฏิรูประบบสุขภาพ สำหรับการประชุมสมัชชาสุขภาพแห่งชาติ ปี พ.ศ.2546**. นนทบุรี: สถาบันวิจัยระบบสาธารณสุข กระทรวงสาธารณสุข.

ศุภชัย รัตนมณีฉัตร. 2529. **พิษวิทยาของสารเคมีที่ใช้ในการเกษตร**. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์อักษรประเสริฐ.

สุฤทธิ์ สมบูรณ์ชัย. 2547. **คู่มือปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ**. เชียงใหม่: ภาควิชาเทคโนโลยีการประมง คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

อำนาจ มีเวที. 2548. **เซลล์พันธุศาสตร์ของมนุษย์**. เชียงใหม่: ภาควิชากายวิภาคศาสตร์ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

Al-Sabti Kabil 1984. **Frequency of chromosome aberrationin the rainbow trout, *Salmogairdneri* Rich, exposed to five pollutants**. India: Department of Biochemistry, Faculty of Science, Jamia Hamdard (Hamdard University).

Allen, S.E., H.M. Grimshaw, J.A. Parkinson and C. Quarmby. 1989. **Chemical analysis of ecological material [Abstract].** 2nd ed. London: Blackwell Scientific Publications. [Online] Available http: www.cababstractsplus.org/abstracts/Abstracts.aspx?AcNo=19751431633. (30 มกราคม 2552)

Babatunde, M.M., A.A Oladimeji and J.K. Balogun. 2001. Acute toxicity of gramoxone to *Oreochromis niloticus* (Terwavas) in Nigeria. **Water, Air & Soil Pollution** 131, 1-4 (October) : 1-10.

Charles, J.M. and N.M. Leeming. 1998. Chronic dietary toxicity study on 2,4-Dichlorophinoxybutyric acid in the dog. **Toxicological Sciences** 46, 1: 134-142.

Folmar, L.C., H.O. Sanders and A.M. Julin. 1979. Toxicity of the herbicide glyphosate and several of its formulations to fish and aquatic invertebrates. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology** 8, 3 (May): 269-278.

Kelly, W.L. and M.M. Bryden. 1983. A modified differential stain for cartilage and bone in whole mount preparation of mammalian fetuses and small vertebrates. **Stain Technology** 58, 3 (May): 131-134.

Levan, Albert; Karl Fredga and Avery A. Sandberg. 1964. Nomenclature for centromeric position on chromosomes. **Hereditas** 52 : 201-220.

Lewis, Leah M. and Santosh P. Lall. 2005. **Development of the axial skeleton and skeletal abnormalities of Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) from first feeding through metamorphosis**. Halifax, Nova Scotia, Canada: Department of Biology, Dalhousie University.

Luna, Lee G. 1968. **Manual of histologic staining method of the Armed Forces Insitituated of Pathology**. USA: Armed Forces Institute of Phathology.

Matthiessen, P. and A.E. Brafield. 1973. **Tbe effects of dissolved zinc on the gills of the Stickleback, Gasterosteus aculeatus (L).** London : Department of Biology, Queen Elizabeth College (University of London).

Middaugh, Douglas P., John W. Fournie and Michael J. Hemmer. 1990. Vertebral abnormalities in juvenile inland silversides *Menidia beryllina* exposed to terbufos during embryogenesis. **Diseases of Aquatic Organisms** 9, 2 (October): 109-116.

Moretti, M., M. Marcarelli, Moretti Villarini, C. Fatigoni, G. Scassellati-Sforzolini and R. Pasquini. 2002. In vitro testing for genotoxicity of the herbicide ternutryn: cytogenetic and primary DNA damage. **Toxicology In Vitro** 16, 1: 81-88.

Northwest Coalition for Alternatives to Pesticides. 2004. Herbicide factsheet : glyphosate. **Journal of Pesticide Reform** 24, 4 (Winter): 10-15.

Ortiz, Juan B., Maria Luiza Gonzalez de Canales and Carmen Sarasquete. 2003. Histopathological changes induced by lindane in various organs of fishes. **Scientia Marina** 67, 1 (Mar): 53-61.

Stivari, M.K. and I. C. Martins-Santos. 2003. Karyotype diversity in two populations of Rhamdia quelen (Pisces, Heptapteridae). **Cytologia** 69, 1: 25-34.

Takahashi, Yoshiyuki, Toshihiko Houjyo, Toshiki Kohjimoto, Yutaka Takagi, Katsuhiko Mori, Tetsuro Muraoka, Hirochika Annoh, Kazuhiro Ogiyama, Yuki Funaki, Kaoru Tanaka, Yataka Wada and Tishikaza Fujita. 2007. Impact of pretilachlor herbicide and pyridaphenthion insecticideon aquatic organisms in model streams. **Ecotoxicology and Environmental Safety** 67, 2 : 227-239.

Vismara, Claudio, Giovanni Vailati and Renato Bacchetta. 2001. Reduction in paraquat embryotoxicity by ascorbic acid in *Xenopus laevis*. **Aquatic Toxicology** 51, 3 (Jan) : 293-303.

Warren, G.F. and F.D. Hess. 1993. Classification of herbicide. pp. 63-66 . In S.C. Weller *et al.* (eds.). **Herbicide action No. 1.** West Lafayette, India: Purdue University.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ขั้นตอนและอุปกรณ์การทดลอง

1. การศึกษาโครงสร้างกระดูกโดยวิธีการดองใส (Lewis and Lall, 2005)

1. นำลูกปลาวัยอ่อนในส่วนที่ 1 มาแช่ในฟอร์มาลีน 10% 2 – 3 วันเพื่อไม่ให้เน่า

2. ล้างฟอร์มาลีนออก และไม่ต้องผ่าท้องเพราะปลามีขนาดเล็ก

3. นำไปฟอกสีให้ขาวใส่สารละลายของ H_2O_2 (30%) 1 ส่วนต่อ KOH 2% 9 ส่วน สารละลายนี้ไม่ควรเตรียมล่วงหน้า เพราะ H_2O_2 จะระเหยไปหมด เตรียมแล้วใช้ทันที ให้สังเกตฟองของ H_2O_2 ที่ละลายขึ้นตลอดเวลาแสดงว่า H_2O_2 ยังมีคุณสมบัติที่จะฟอกสีให้ได้อยู่ อาจจะแช่ค้างคืนได้ถ้าตัวสัตว์ยังไม่ขาว

4. นำสัตว์มาย่อยเนื้อออกด้วยเอนไซม์ Trypsin โดยเตรียม Buffer สำหรับปรับพีเอชของสารละลายให้เอนไซม์ทำงานได้ดี Buffer เตรียมจาก

บอแร็กซ์อิ่มตัว 3 ส่วน
น้ำกลั่น 7 ส่วน

ใส่ buffer นี้ในขวดที่จะใช้ย่อยโดยให้ท่วมตัวสัตว์ และใส่เอนไซม์ลงไปเล็กน้อย ขนาดปลายช้อนแกง ปิดฝาขวดทิ้งไว้และสังเกตดูน้ำในขวด หากขุ่นให้เปลี่ยน buffer ใหม่และใส่เอนไซม์ใหม่ ทำหลายครั้งจนกระทั่งตัวสัตว์ใสเห็นชัดเจน ขั้นตอนจะช้าหรือเร็วขึ้นอยู่กับขนาดของสัตว์ (บอแร็กซ์อิ่มตัวเตรียมโดยละลายบอแร็กซ์ในน้ำกลั่นจนกระทั่งไม่ละลายอีก รินส่วนใส ๆ มาใช้)

5. เตรียมสีย้อมกระดูกแข็ง โดยนำ Alizarin Red 1 กรัม มาละลายในน้ำกลั่นเพียงเล็กน้อยพอท่วมเม็ดสี ใช้ช้อนบี้เม็ดสีให้ละเอียด เม็ดสีจะแตกตัวในน้ำกลั่นนี้ หลังจากนั้นเทต่าง KOH 2% ลงไปจนได้ปริมาตร 1 ลิตร ถ้าเอาสีไปละลายในด่างเลยสีจะไม่ละลายสี Alizarin ในด่างจะมีสีม่วงแดง ปริมาณสีที่จะใช้อาจจะเข้มข้นกว่านี้ได้ตามแต่จะต้องการ นำสัตว์มาแช่ในสีจนกระทั่งสีติดกระดูกจนทั่ว ต้องคอยยกขึ้นมาดูเสมอๆ ถ้ายังไม่ติดสีก็แช่ต่ออีก

6. นำสัตว์มาย่อยด้วยเอนไซม์ซ้ำตามขั้นตอนข้อ 4 สีที่ติดตามตัวจะหลุดออกมาเปลี่ยน buffer และในเอนไซม์ลงไปใหม่จนสีของน้ำยา buffer ใส

7. นำตัวอย่างสัตว์ไปแช่กลีเซอรีน เพื่อให้ตัวใส เพราะกลีเซอรีนจะซึมเข้าไปแทนที่เนื้อที่ถูกย่อยออกไป และสัตว์จะแต่งและใสทำให้เห็นกระดูกชัดเจน การเตรียมกลีเซอรีนทำตามขั้นตอนดังนี้

ขั้นที่ 1 แช่สารละลายกลีเซอรีน KOH 2% ในอัตราส่วน 1 : 3, 1 วัน
ขั้นที่ 2 แช่สารละลายกลีเซอรีน KOH 2% ในอัตราส่วน 1 : 1, 1 วัน
ขั้นที่ 3 แช่สารละลายกลีเซอรีน KOH 2% ในอัตราส่วน 3 : 1, 1 วัน
ขั้นที่ 4 แช่สารละลายกลีเซอรีนล้วนๆ นาน 2 – 3 วันจนตัวใส

8. เก็บตัวอย่างในขวดแก้วที่ขาวใส โดยแช่ในกลีเซอรีนล้วน ๆ และใส่ thymol ลงไป 1 – 2 เกล็ด ปิดฝาให้แน่น

2. การศึกษาโครโมโซม

การเตรียมโครโมโซม (ดัดแปลงจากวิธีการของ เกรียงไกร (2543) และอำนาจ (2544)

2.1 นำปลาที่ต้องการตรวจหาโครโมโซมมาแช่ด้วย colchicine เข้มข้น 0.01% เปิดออกซิเจนแรง ๆ เป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง

2.2 นำปลามาตัดเอาเฉพาะเหงือก

2.3 นำเหงือกปลาที่ได้แช่ใน Hypotonic solution (Sodium citrate 1%) เป็นเวลา 12 นาที

2.4 ทำเหมือนเดียวกันกับข้อ 2.3 หลังจากนั้นจึงปล่อยทิ้งให้แห้งหมาด ๆ

2.5 หยดกรด acetic acid 60% (โดยเตรียมจาก acetic acid ต่อ น้ำกลั่น 1.6:1.4) โดยค่อย ๆ หยดลงบนเหงือก เพื่อให้เซลล์ค่อย ๆ หลุด ประมาณ 12 หยด แต่ไม่ต้องดูดทิ้ง

2.6 หยด fixative 3 : 1 อีก 12 หยด จากนั้นจึงนำไปทำสไลด์ต่อไป

หมายเหตุ : fixative เตรียมใหม่ก่อนใช้ทุกครั้ง

การเตรียมสไลด์

- วางสไลด์ใหม่ลงบน Hot plate ที่ 45 องศาเซลเซียส
- หยดตัวอย่างลงบนสไลด์ แล้วเกลี่ยให้บาง รอจนแห้งหมาด ๆ
- นำสไลด์มาตรวจเพื่อนำไปย้อมสีต่อไป

การย้อมสีโครโมโซม (เกรียงไกร, 2543)

วิธีการย้อมสีแบบ Giemsa stained

1. นำสไลด์ (จากข้อการเตรียมสไลด์) มาย้อมใน 5% Giemsa เป็นเวลานาน 10 – 15 นาที

2. ล้างสไลด์ด้วยน้ำกลั่น ตั้งทิ้งไว้ให้แห้ง

การตรวจสอบเซลล์และโครโมโซม

ในการตรวจโครโมโซมจะทำในเซลล์ที่อยู่ในระยะเมตาเฟสเท่านั้น โดยตรวจสอบจากทุกเซลล์บนแผ่นสไลด์ที่โครโมโซมมีการซ้อนทับกันน้อยที่สุด ทำการนับจำนวนโครโมโซมทั้งหมด 100 เซลล์ของปลาที่ทำการศึกษา เมื่อนับโครโมโซมครบ 100 เซลล์แล้วจึงทำการ

เปรียบเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ โดยถือตามจำนวนโครโมโซมที่มีเปอร์เซ็นต์สูงสุด ในแต่ละชนิดเป็นจำนวนโครโมโซมของปลาชนิดนั้น ๆ แล้วนำภาพไปขยายด้วยคอมพิวเตอร์ นับจำนวนโครโมโซม และความผิดปกติของโครงสร้างโครโมโซม

การจัดคาริโอไทป์ดัดแปลงจากวิธีของ Levan *et al.* (1964) โดยนำรูปของโครโมโซมที่กระจายตัวดี และชัดเจนที่สุดของปลาแต่ละชนิดมา 10 เซลล์ นำไปอัดขยายวัดความยาวของแขนข้างสั้น (Ls) และความยาวของแขนข้างยาว(LI) ซึ่งมีหน่วยเป็นความยาวเชิงสัมพัทธ์ โดยวัดจากตำแหน่ง centromere ไปยังปลายโครโมโซมทั้ง 2 ด้าน คำนวณค่า Centromeric index (C.I.) = LI/Lt (โดยที่ Lt = total length) แบ่งชนิดโครโมโซม จับคู่โครโมโซมโดยอาศัยค่า C.I. จากนั้นเลือกภาพโครโมโซมของปลาแต่ละชนิดในระยะเมทาเฟสที่กระจายตัวดีมาทำคาริโอไทป์

ตารางภาคผนวกที่ 1 ผลการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของจำนวนโครโมโซมปลานิลที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสทความเข้มข้น 0.18,0.6,1.2 และ 4.8 ppm เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม

ความเข้มข้น (ppm)	Levene's Test for Equality of Variance	
	F	Sig.
0.18	3.794	0.053
0.6	2.441	0.120
1.2	0.002	0.964
4.8	2.682	0.103

ตารางภาคผนวกที่ 2 ผลการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของจำนวนโครโมโซมปลาตะเพียนขาวที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสทความเข้มข้น 0.6,0.98,1.2 และ 4.8 ppm เปรียบเทียบกับ กลุ่มควบคุม

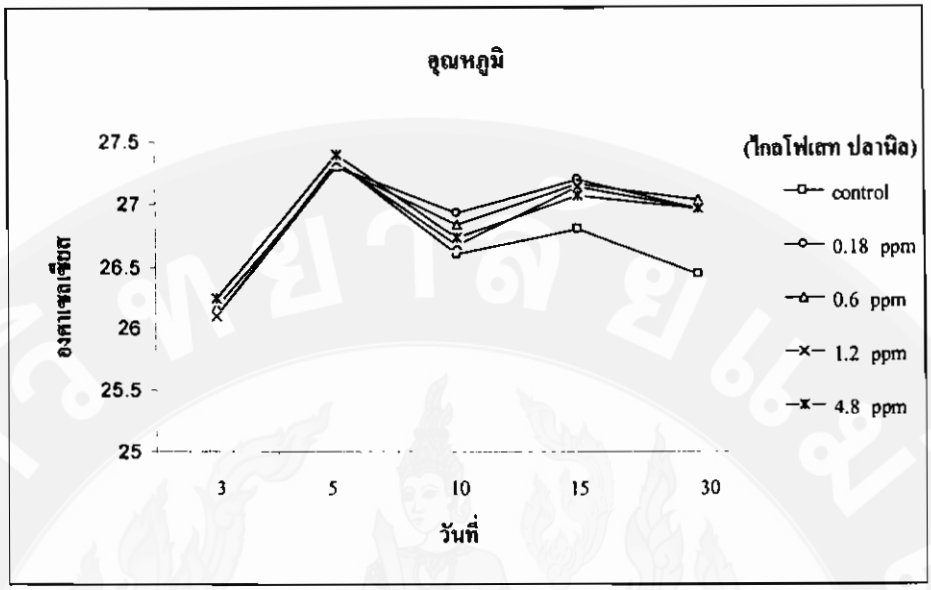
ความเข้มข้น (ppm)	Levene's Test for Equality of Variance	
	F	Sig.
0.6	1.500	0.222
0.98	0.079	0.779
1.2	7.319	0.007
4.8	9.041	0.003

ตารางภาคผนวกที่ 3 ผลการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของจำนวนโครโมโซมปลานิลที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชพาราควอตความเข้มข้น 0.16,0.35,0.5 และ 0.7 ppm เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม

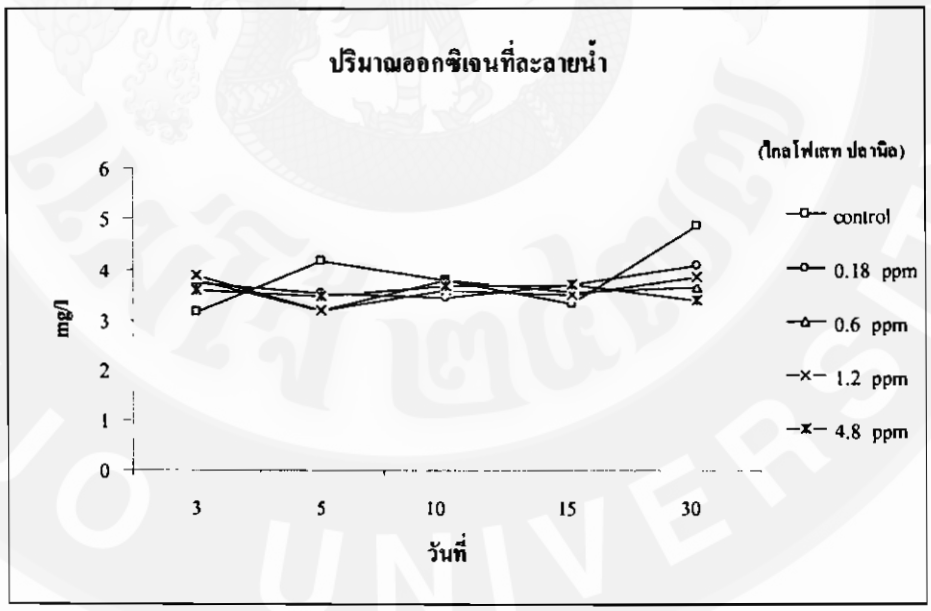
ความเข้มข้น (ppm)	Levene's Test for Equality of Variance	
	F	Sig.
0.16	0.028	0.868
0.35	0.008	0.931
0.5	0.278	0.598
0.7	0.614	0.434

ตารางภาคผนวกที่ 4 ผลการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของจำนวนโครโมโซมปลาตะเพียนขาวที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชพาราควอตความเข้มข้น 0.2,0.35,0.5 และ 0.7 ppm เปรียบเทียบกับ กลุ่มควบคุม

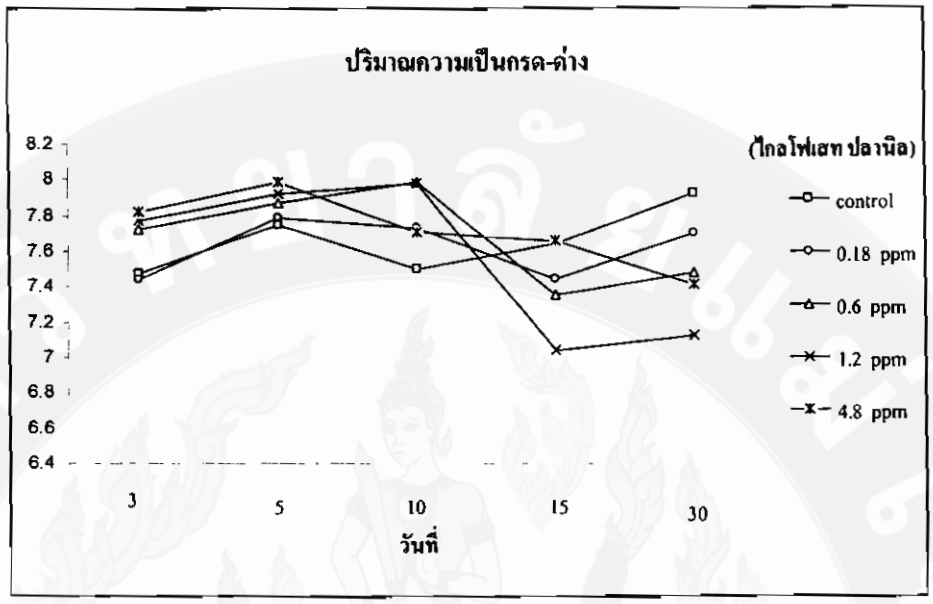
ความเข้มข้น (ppm)	Levene's Test for Equality of Variance	
	F	Sig.
0.2	1.827	0.178
0.35	6.565	0.011
0.5	3.279	0.720
0.7	0.157	0.692



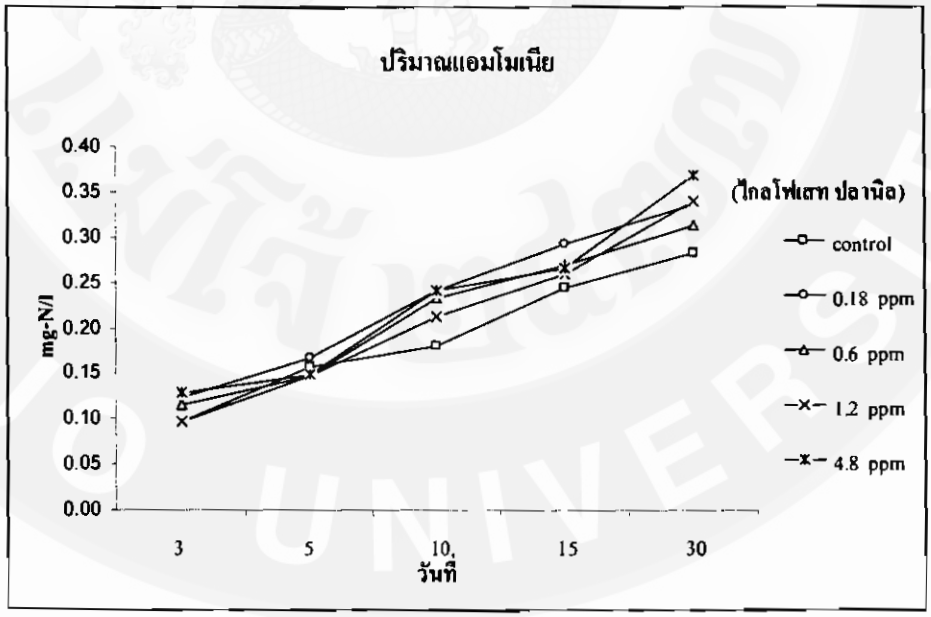
กราฟ 1 อุณหภูมิในการทดลองปลานิลที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสท ที่ความเข้มข้นต่างกัน ระยะเวลา 30 วัน



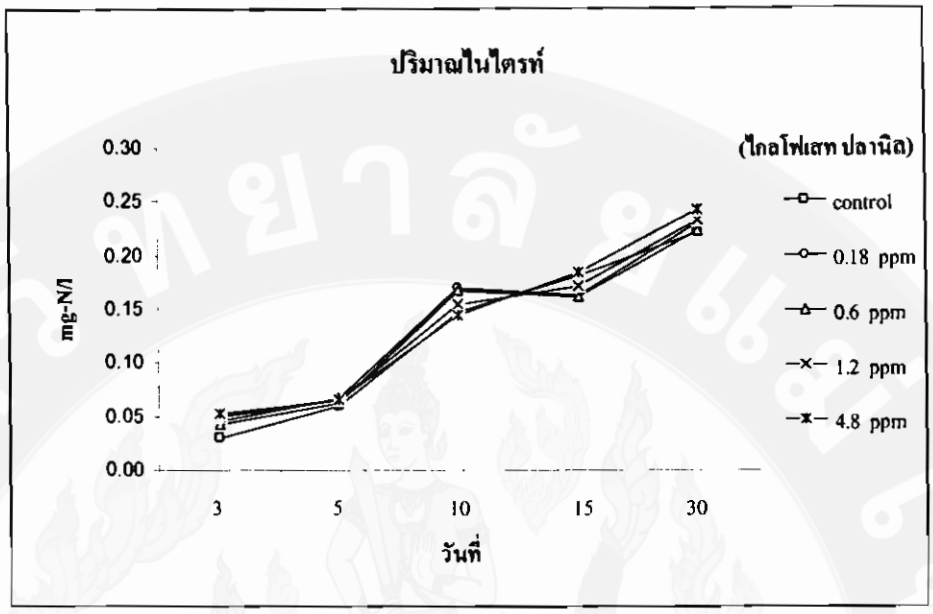
กราฟ 2 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ(DO)ในการทดลองปลานิลที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสทที่ความเข้มข้นต่างกัน ระยะเวลา 30 วัน



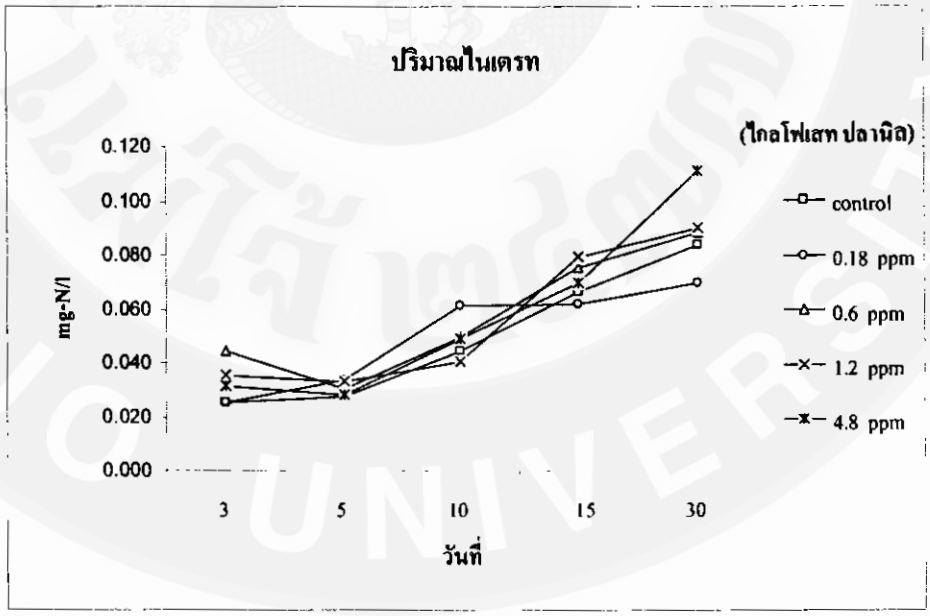
กราฟ 3 ปริมาณความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในการทดลองปลานิลที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสทที่ความเข้มข้นต่างกัน ระยะเวลา 30 วัน



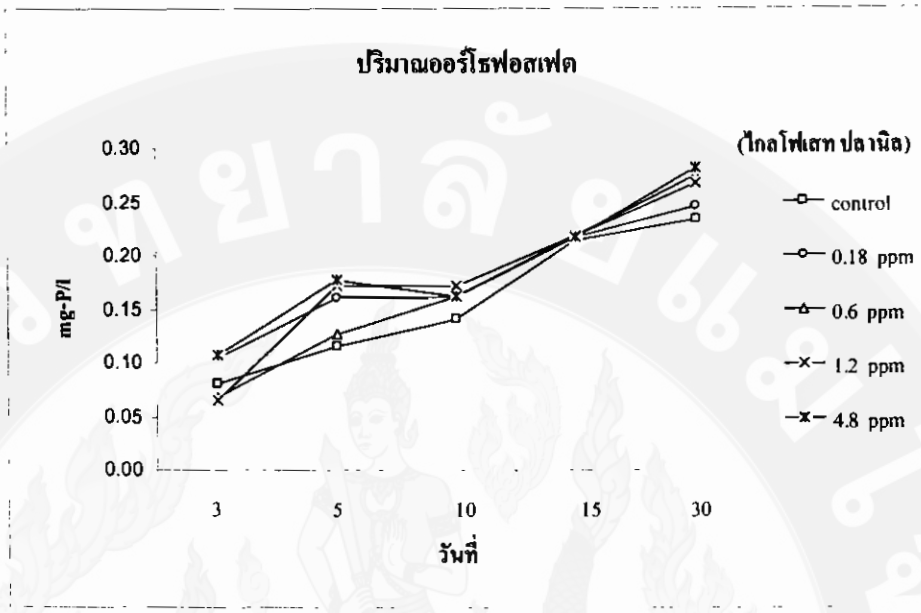
กราฟ 4 ปริมาณแอมโมเนียในการทดลองปลานิลที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสทที่ความเข้มข้นต่างกัน ระยะเวลา 30 วัน



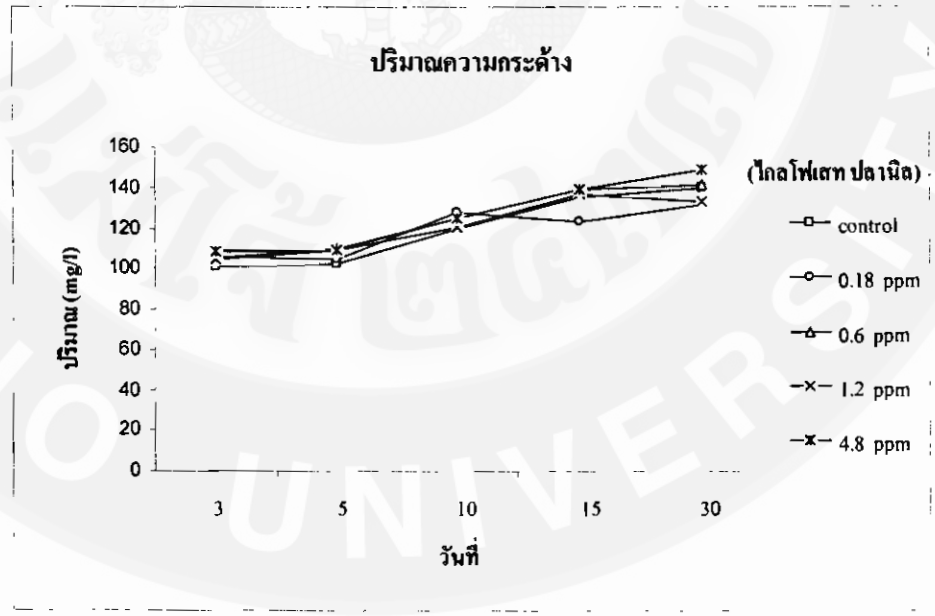
กราฟ 5 ปริมาณไนไตรท์ในการทดลองปลานิลที่ได้รับสารกำจัดวัชพืช ไกลโฟเสทที่ความเข้มข้นต่างกัน ระยะเวลา 30 วัน



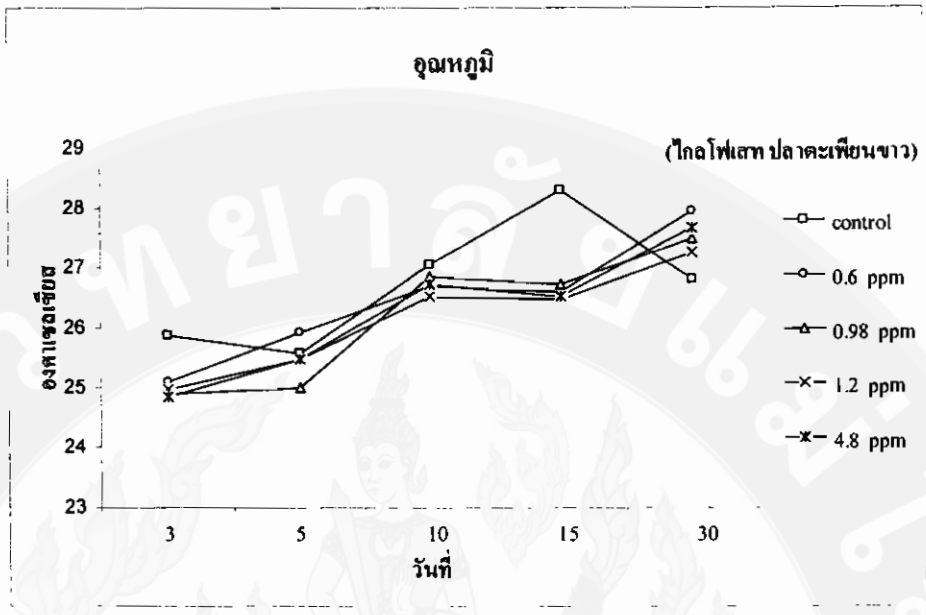
กราฟ 6 ปริมาณไนเตรทในการทดลองปลานิลที่ได้รับสารกำจัดวัชพืช ไกลโฟเสทที่ความเข้มข้นต่างกัน ระยะเวลา 30 วัน



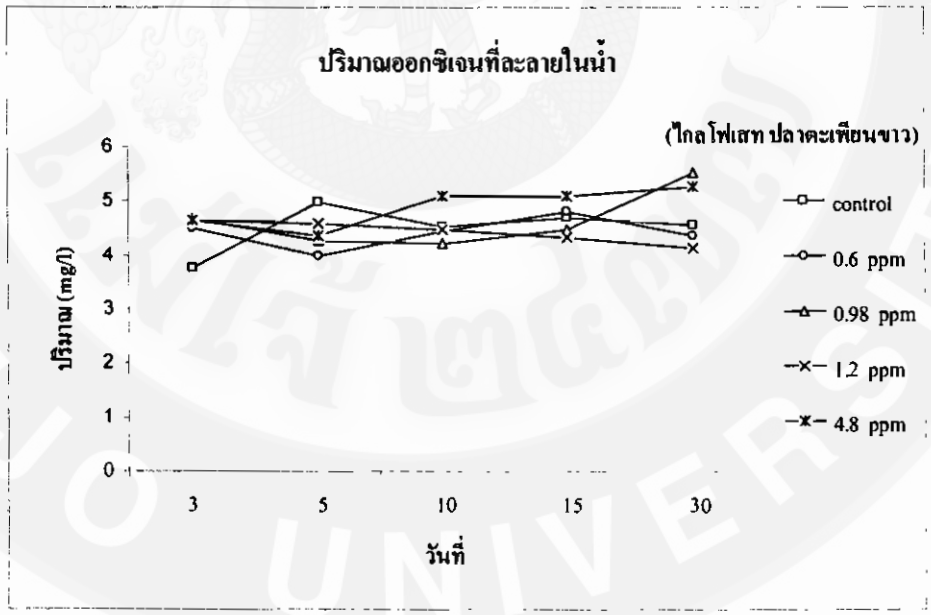
กราฟ 7 ปริมาณออร์โธฟอสเฟตในการทดลองปลานิลที่ได้รับสารกำจัดวัชพืช ไกลโฟเสทที่ความเข้มข้นต่างกัน ระยะเวลา 30 วัน



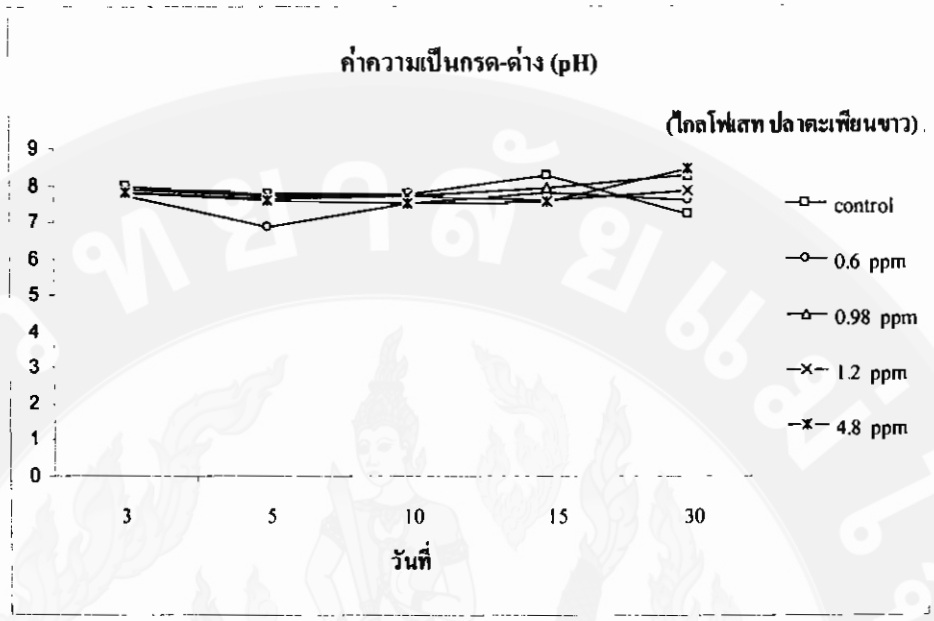
กราฟ 8 ปริมาณความกระด้างในการทดลองปลานิลที่ได้รับสารกำจัดวัชพืช ไกลโฟเสทที่ความเข้มข้นต่างกัน ระยะเวลา 30



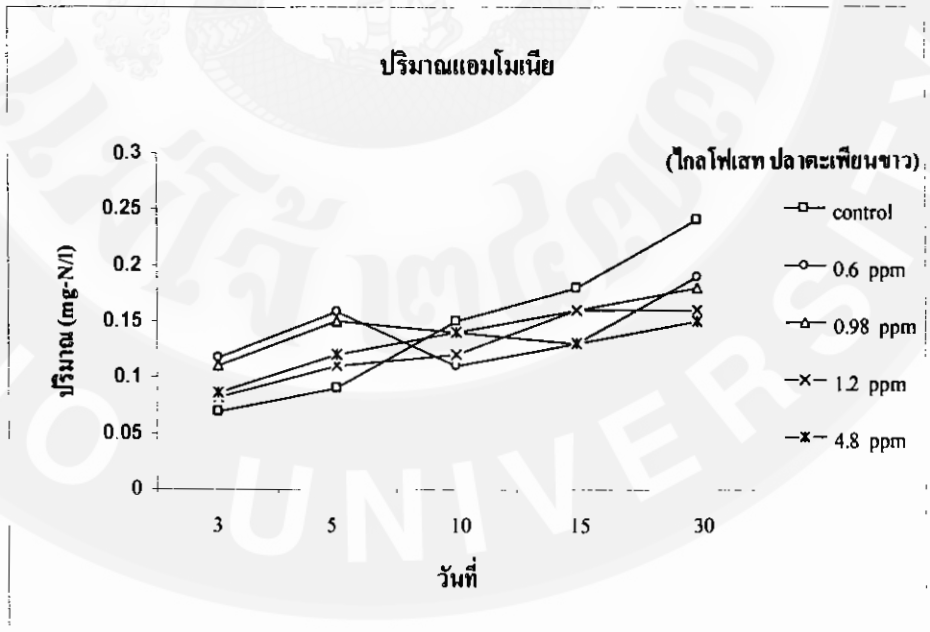
กราฟ 9 อุณหภูมิในการทดลองปลาตะเพียนขาวที่ได้รับสารกำจัดวัชพืช ไกลโฟเสทที่ความเข้มข้นต่างกันระยะเวลา 30 วัน



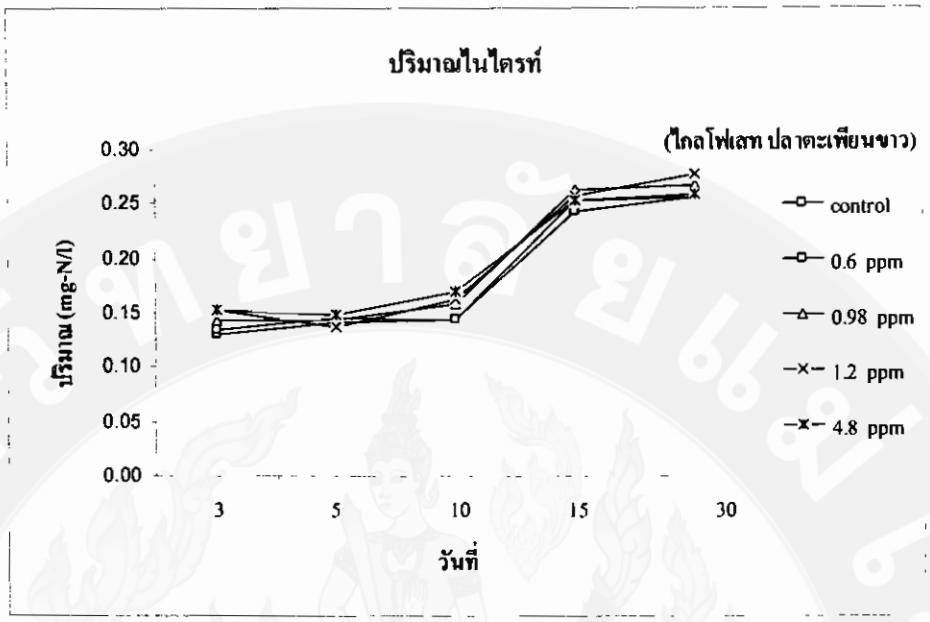
กราฟ 10 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (DO) ในการทดลองปลาตะเพียนขาว ที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสทที่ความเข้มข้นต่างกัน ระยะเวลา 30 วัน



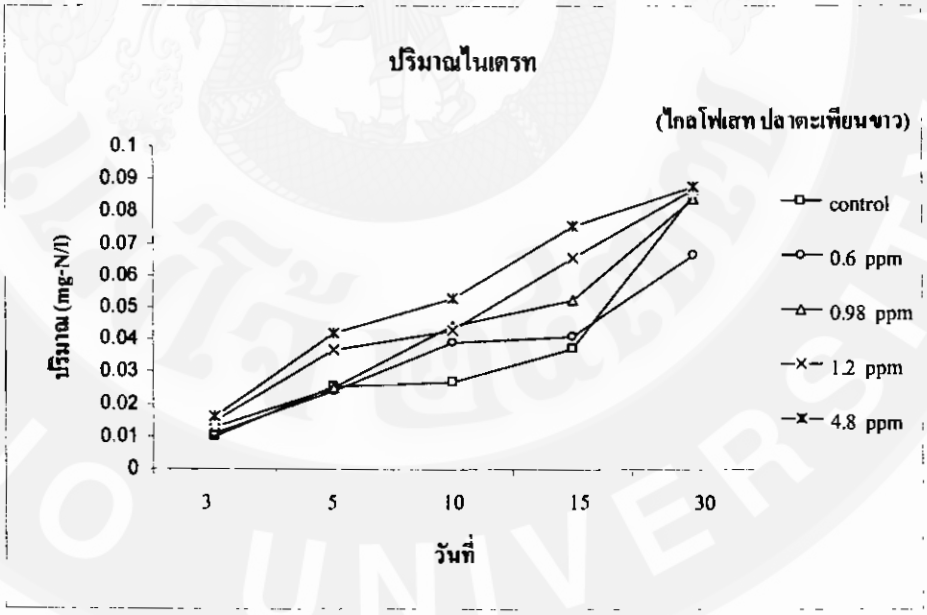
กราฟ 11 ปริมาณความเป็นกรด-ด่าง (pH)ในการทดลองปลาตะเพียนขาวที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสทที่ความเข้มข้นต่างกัน ระยะเวลา 30 วัน



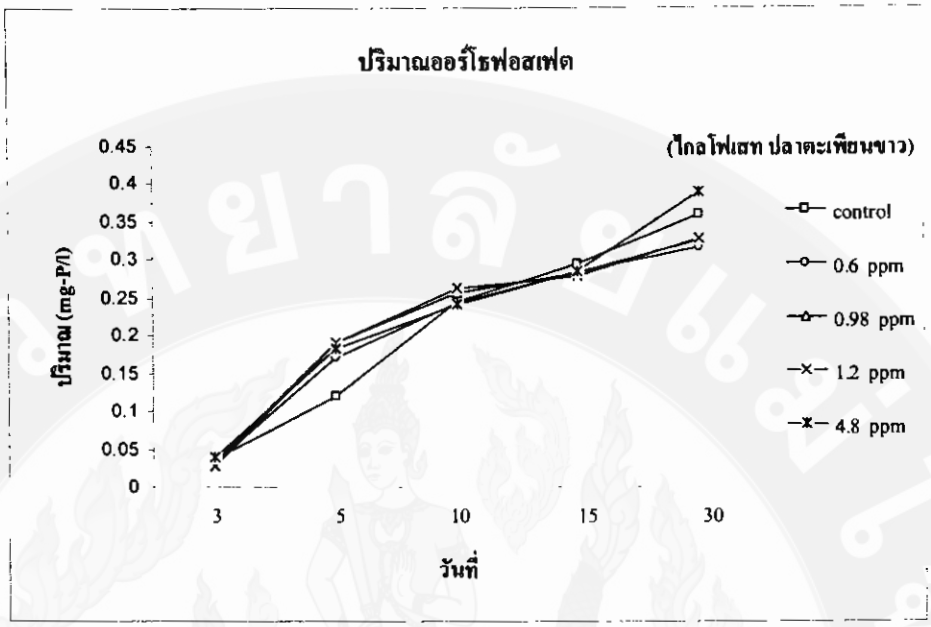
กราฟ 12 ปริมาณแอมโมเนียในการทดลองปลาตะเพียนขาวที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสทที่ความเข้มข้นต่างกัน ระยะเวลา 30 วัน



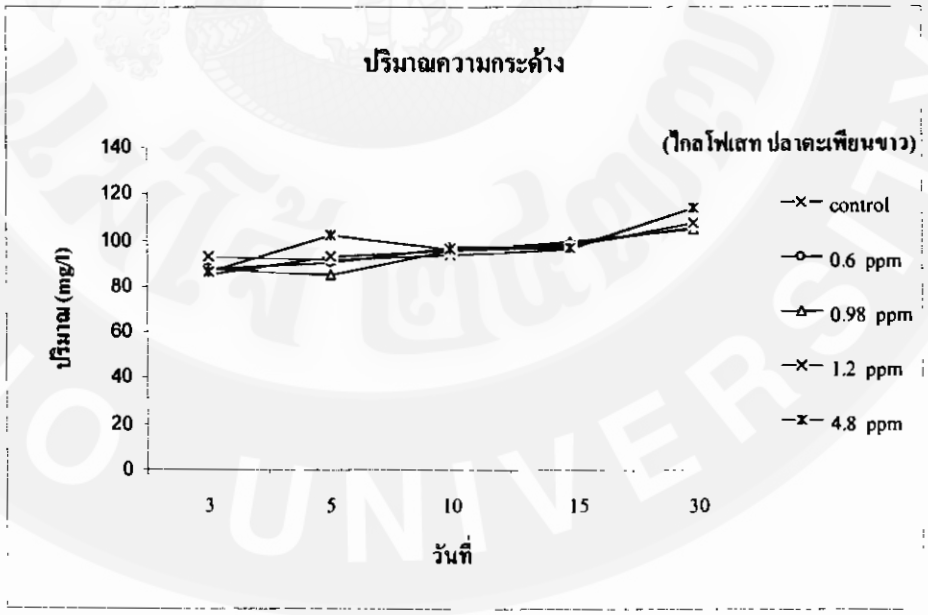
กราฟ 13 ปริมาณไนไตรท์ในการทดลองปลาตะเพียนขาวที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสทที่ความเข้มข้นต่างกัน ระยะเวลา 30 วัน



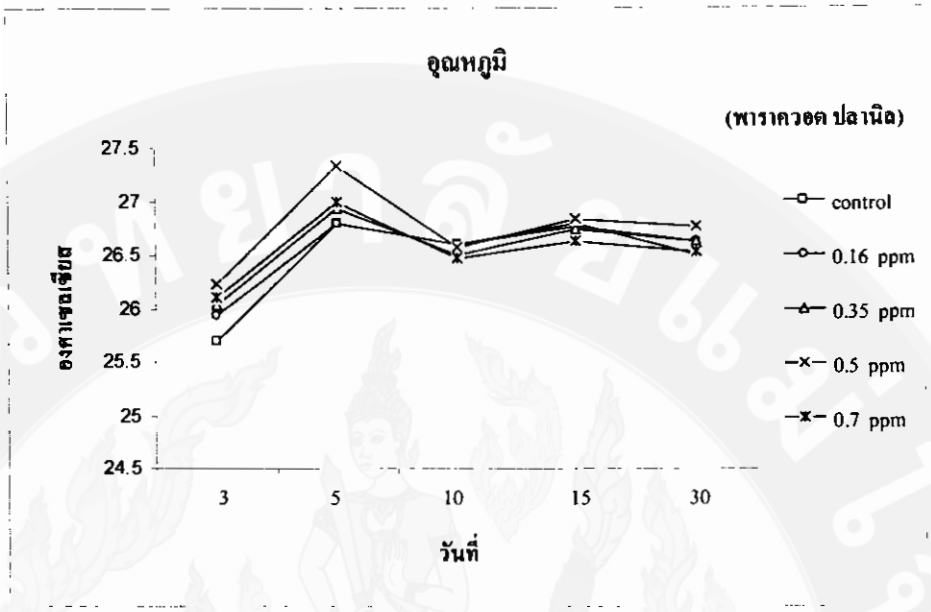
กราฟ 14 ปริมาณไนเตรทในการทดลองปลาตะเพียนขาวที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสทที่ความเข้มข้นต่างกัน ระยะเวลา 30 วัน



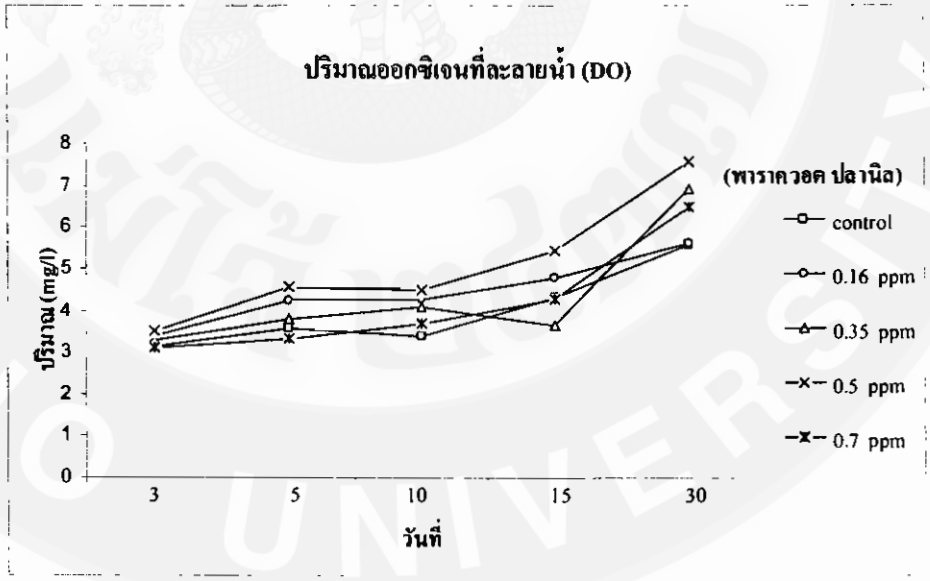
กราฟ 15 ปริมาณออร์โธฟอสเฟตในการทดลองปลาตะเพียนขาวที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสทที่ความเข้มข้นต่างกัน ระยะเวลา 30 วัน



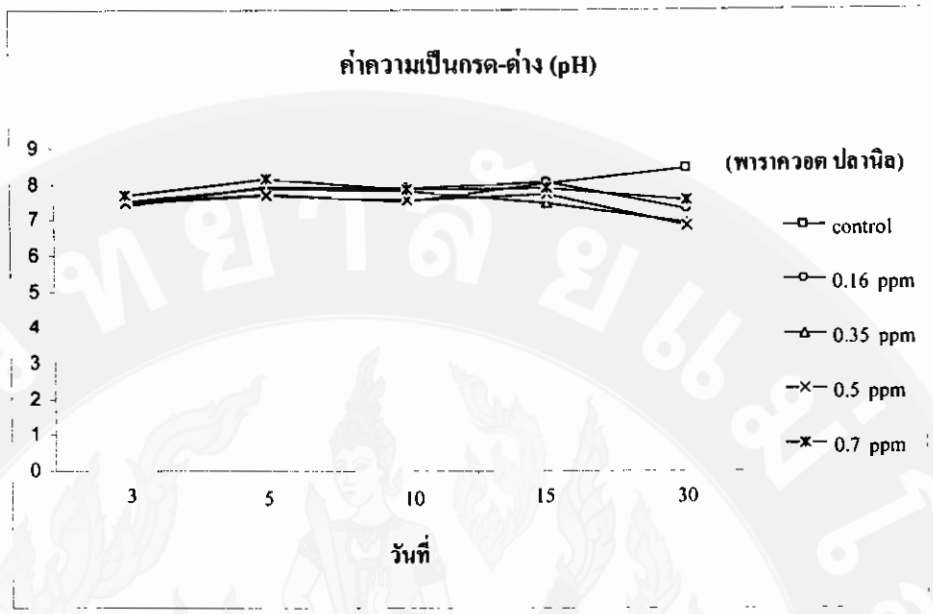
กราฟ 16 ปริมาณความกระด้างในการทดลองปลาตะเพียนขาวที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสทที่ความเข้มข้นต่างกัน ระยะเวลา 30 วัน



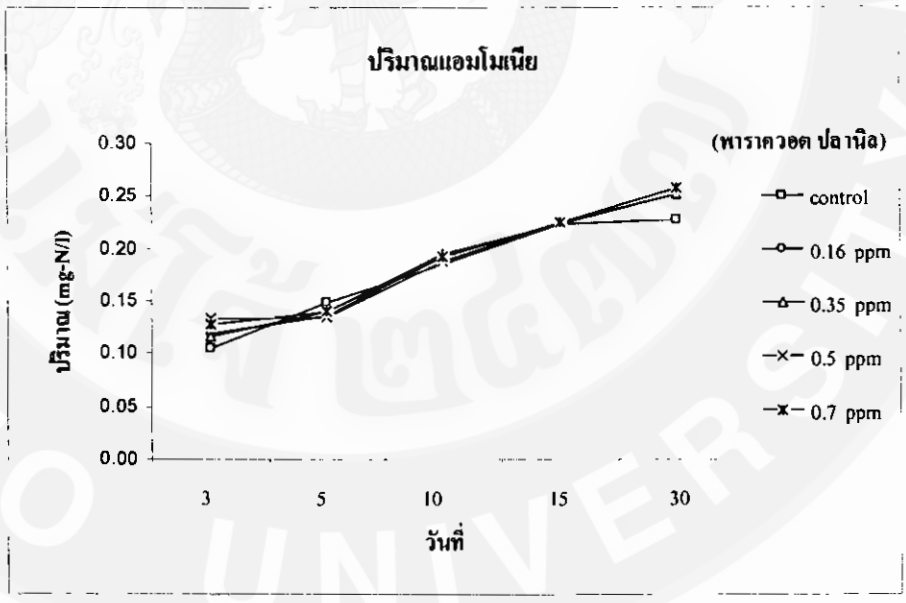
กราฟ 17 อุณหภูมิในการทดลองปลานิลได้รับสารกำจัดวัชพืชพาราควอต ที่ความเข้มข้นต่างกัน ระยะเวลา 30 วัน



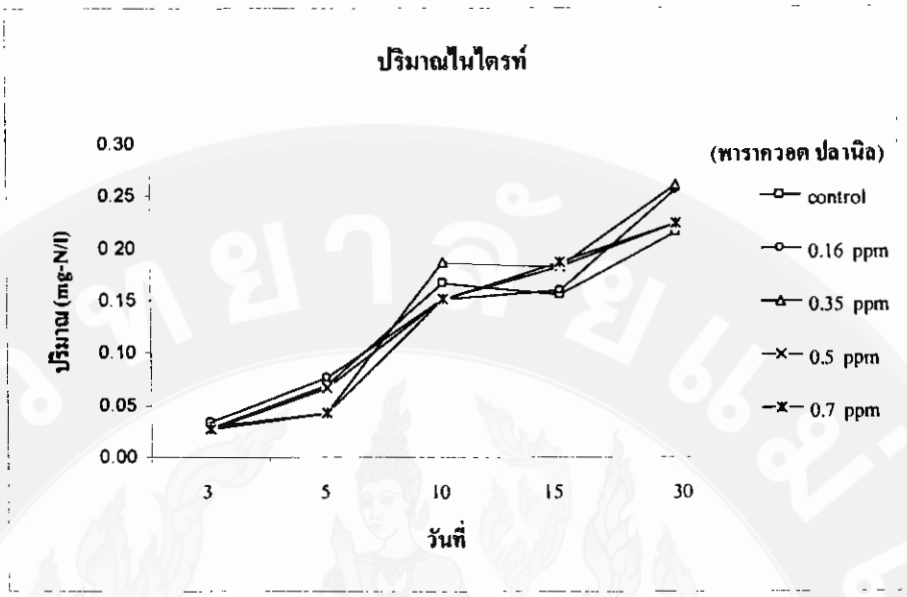
กราฟ 18 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำในการทดลองปลานิลได้รับสารกำจัดวัชพืชพาราควอตที่ความเข้มข้นต่างกัน ระยะเวลา 30 วัน



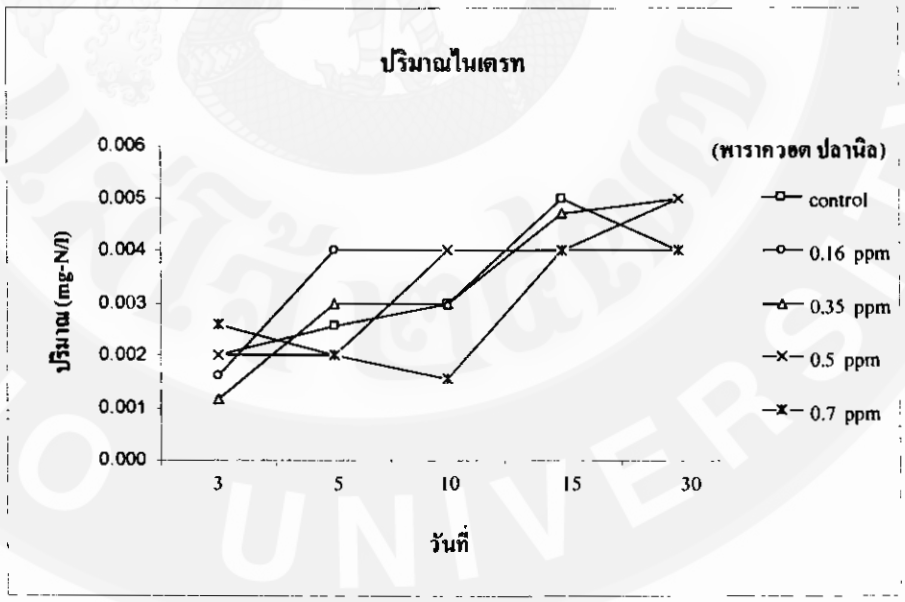
กราฟ 19 ปริมาณความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในการทดลองปลานิลได้รับสารกำจัดวัชพืชพาราควอตที่ความเข้มข้นต่างกัน ระยะเวลา 30 วัน



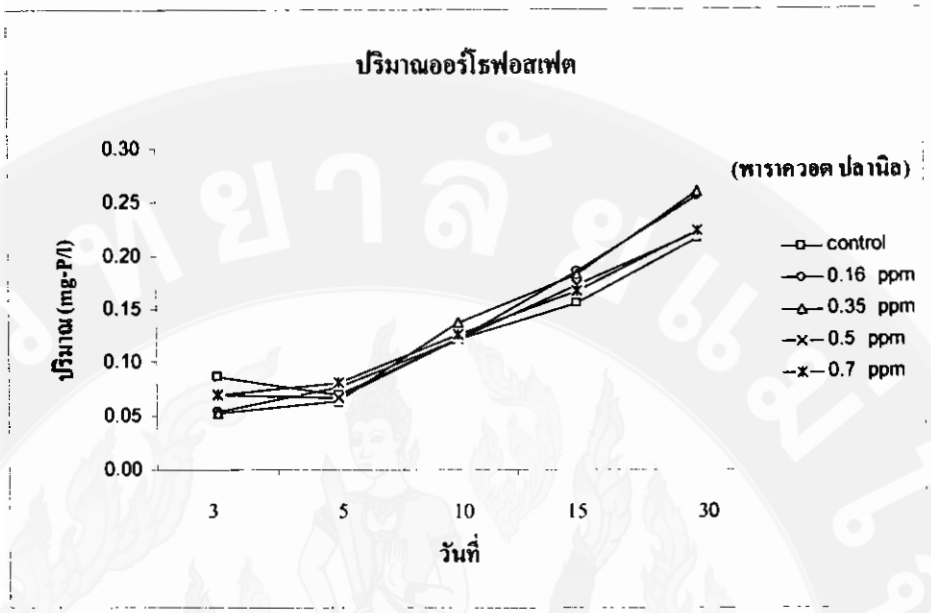
กราฟ 20 ปริมาณแอมโมเนียที่ละลายน้ำในการทดลองปลานิลได้รับสารกำจัดวัชพืชพาราควอตที่ความเข้มข้นต่างกัน ระยะเวลา 30 วัน



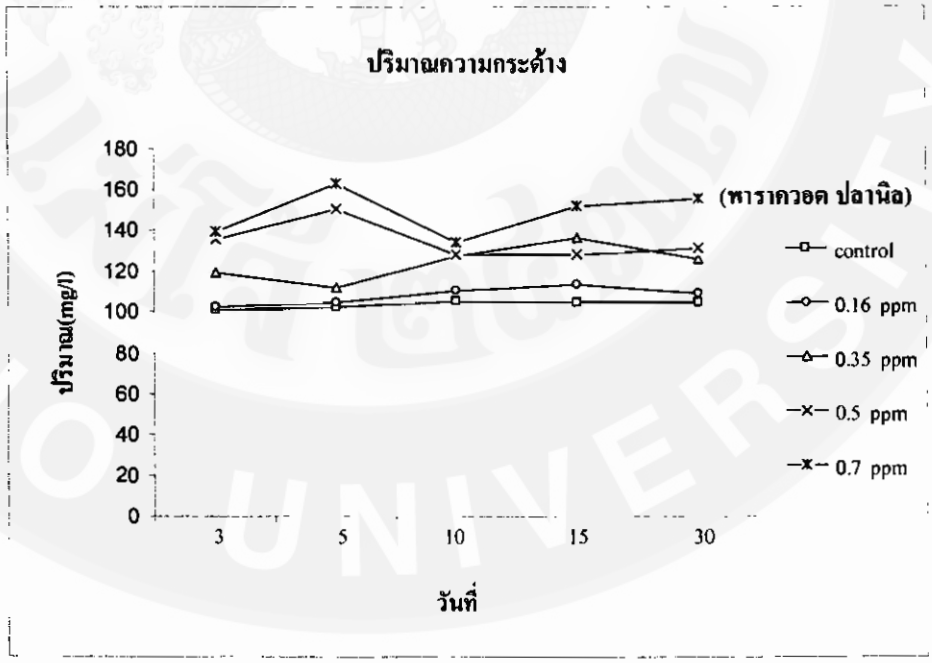
กราฟ 21 ปริมาณไนไตรท์ที่ละลายน้ำในการทดลองปลานิลได้รับสารกำจัดวัชพืชพาราควอตที่ความเข้มข้นต่างกัน ระยะเวลา 30 วัน



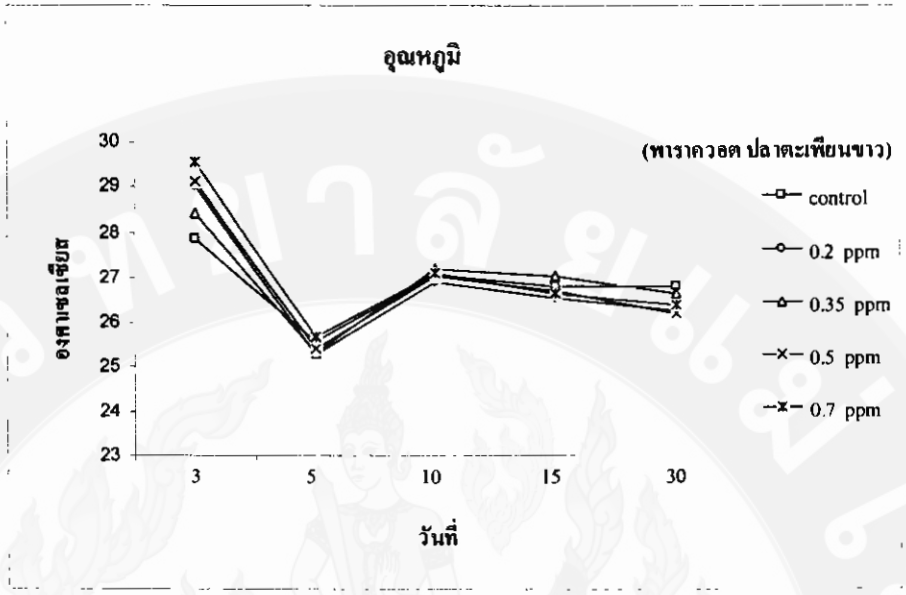
กราฟ 22 ปริมาณไนเตรทที่ละลายน้ำในการทดลองปลานิลได้รับสารกำจัดวัชพืชพาราควอตที่ความเข้มข้นต่างกัน ระยะเวลา 30 วัน



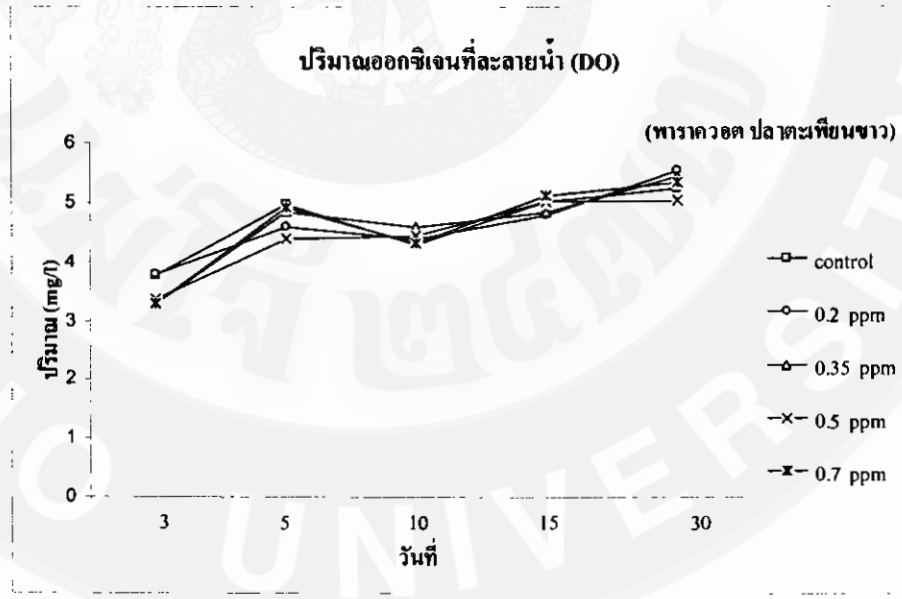
กราฟ 23 ปริมาณออร์โธฟอสเฟตที่ละลายน้ำในการทดลองปลานิลได้รับสารกำจัดวัชพืชพาราควอตที่ความเข้มข้นต่างกัน ระยะเวลา 30 วัน



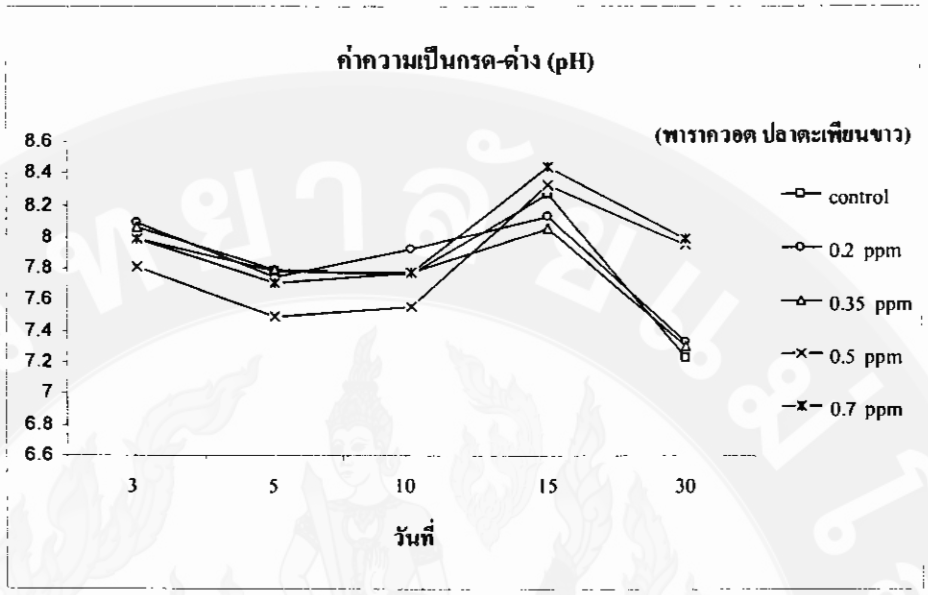
กราฟ 24 ปริมาณความกระด้างที่ละลายน้ำในการทดลองปลานิลได้รับสารกำจัดวัชพืชพาราควอตที่ความเข้มข้นต่างกัน ระยะเวลา 30 วัน



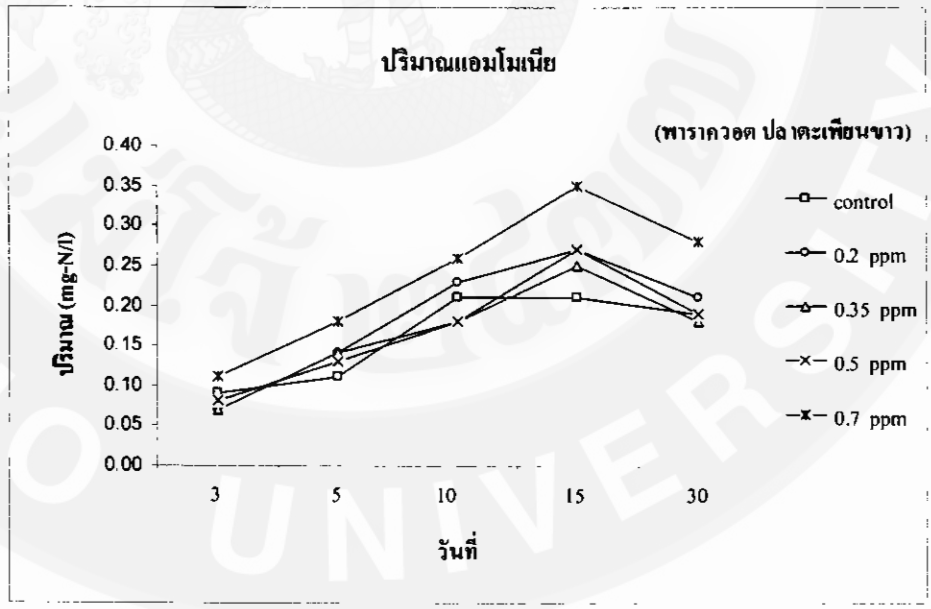
กราฟ 25 อุณหภูมิในการทดลองปลาตะเพียนขาวได้รับสารกำจัดวัชพืช พาราควอตที่ความเข้มข้นต่างกัน ระยะเวลา 30 วัน



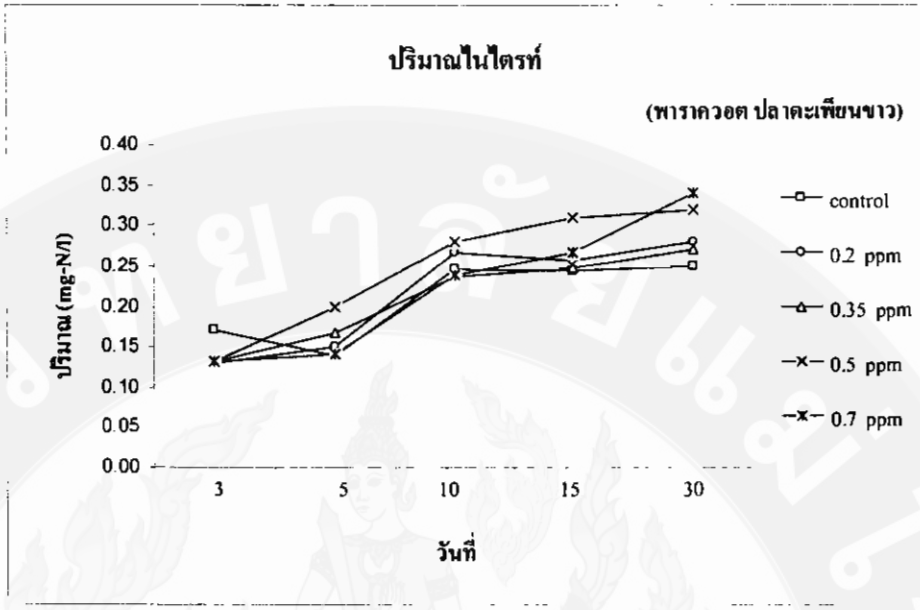
กราฟ 26 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (DO) ในการทดลองปลาตะเพียนขาว ได้รับสารกำจัดวัชพืชพาราควอตที่ความเข้มข้นต่างกัน ระยะเวลา 30 วัน



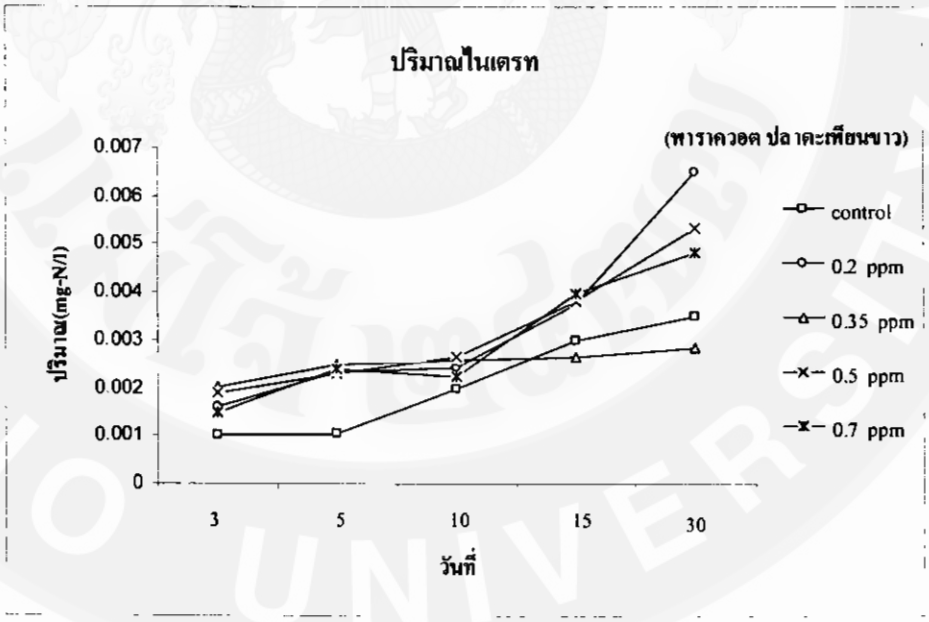
กราฟ 27 ค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH) ในการทดลองปลาตะเพียนขาว ได้รับสารกำจัดวัชพืชพาราควอตที่ความเข้มข้นต่างกัน ระยะเวลา 30 วัน



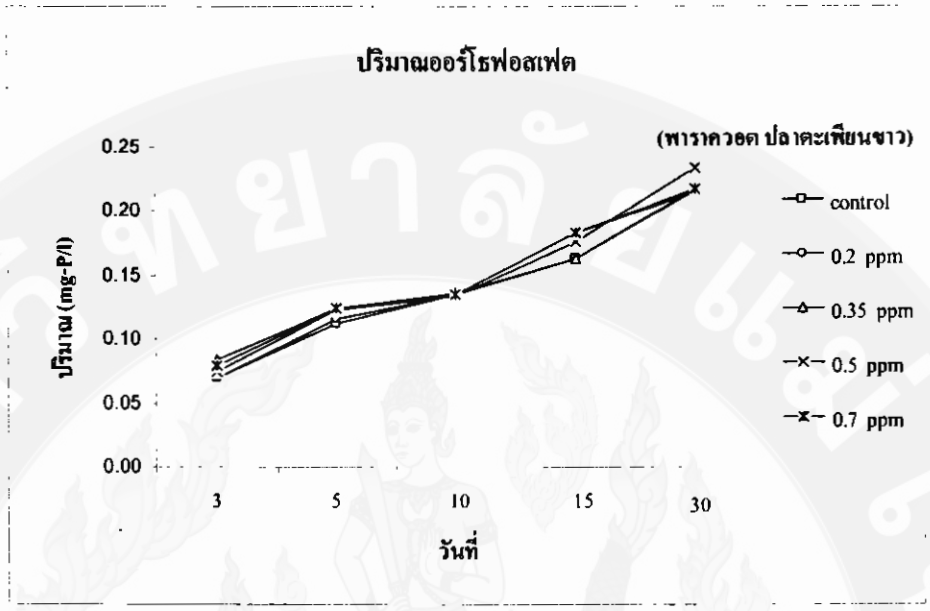
กราฟ 28 ปริมาณแอมโมเนียในการทดลองปลาตะเพียนขาวได้รับสารกำจัดวัชพืช พาราควอตที่ความเข้มข้นต่างกัน ระยะเวลา 30 วัน



กราฟ 29 ปริมาณไนไตรท์ในการทดลองปลาตะเพียนขาวได้รับสารกำจัดวัชพืช พาราควอตที่ความเข้มข้นต่างกัน ระยะเวลา 30 วัน

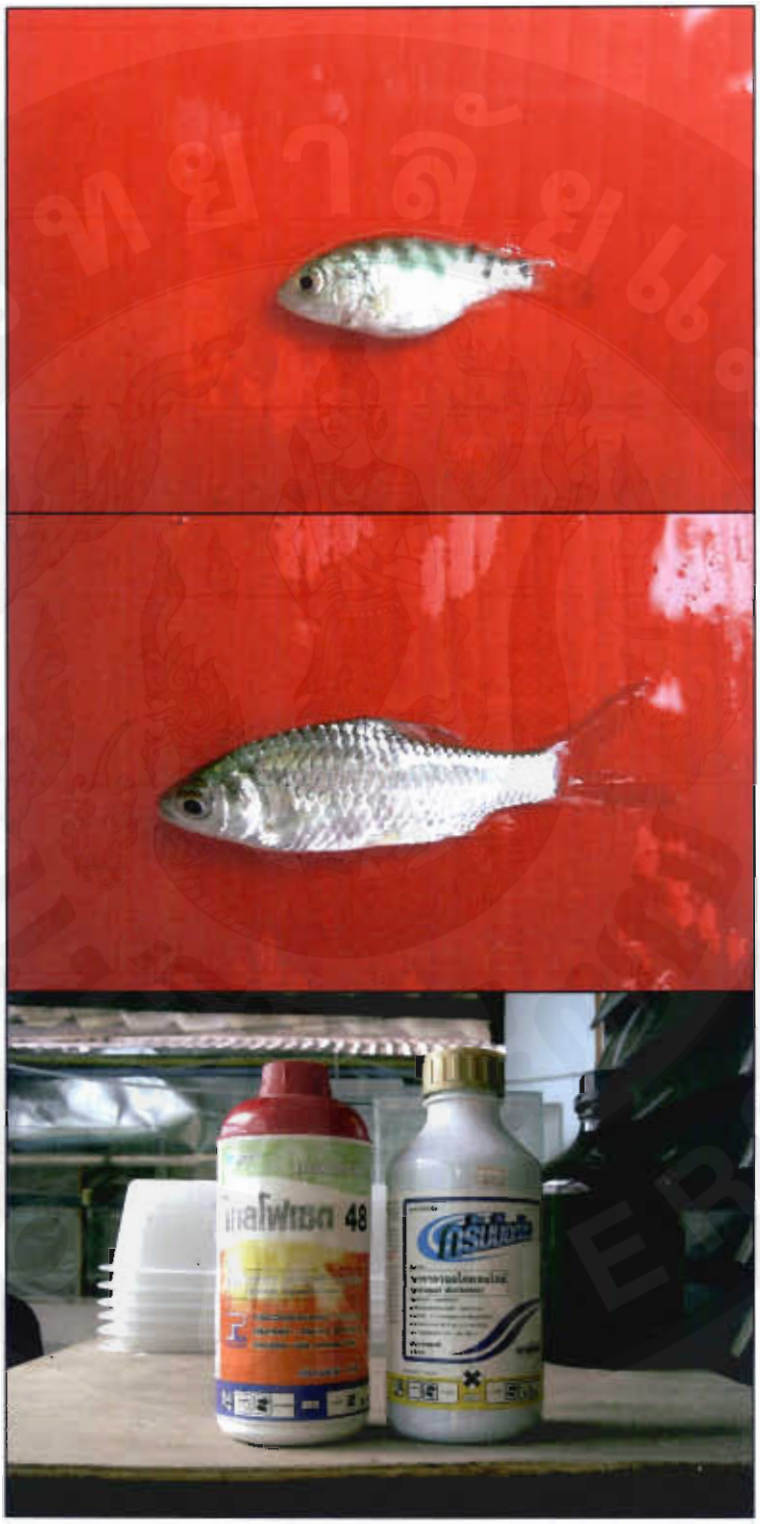


กราฟ 30 ปริมาณไนเตรทในการทดลองปลาตะเพียนขาวได้รับสารกำจัดวัชพืช พาราควอตที่ความเข้มข้นต่างกัน ระยะเวลา 30 วัน

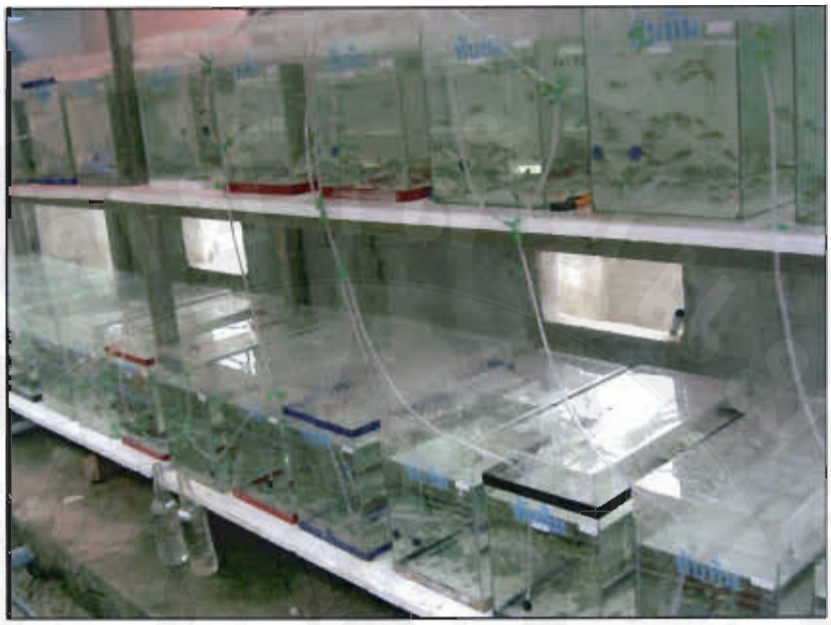


กราฟ 31 ปริมาณออร์โธฟอสเฟตในการทดลองปลาตะเพียนขาวได้รับสารกำจัดวัชพืช พาราควอตที่ความเข้มข้นต่างกัน ระยะเวลา 30 วัน

กราฟ 32 ปริมาณความกระด้างในการทดลองปลาตะเพียนขาวได้รับสารกำจัดวัชพืช พาราควอตที่ความเข้มข้นต่างกัน ระยะเวลา 30 วัน



ภาพภาคผนวกที่ 1 ปลานิลและปลาตะเพียนขาวขนาด 3.5 เซนติเมตรและสารกำจัดวัชพืชที่ใช้ในการทดลอง



ภาพภาคผนวกที่ 2 ตู้ปลาที่ใช้ในการทดลอง

ภาพภาคผนวกที่ 3 การเตรียมตัวอย่างโครโมโซมจากเหงือก

ภาพภาคผนวกที่ 4 อุปกรณ์ในการศึกษาจุลกายวิภาคของเหงือกปลา

ภาคผนวก ข
ประวัติผู้วิจัย

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นางสาวทัศณียา มูลเข้า	
วัน เดือน ปีเกิด	16 มีนาคม 2525	
ภูมิลำเนา	จังหวัดพะเยา	
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2543	มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนพะเยาประสาธน์วิทย์ จังหวัดพะเยา
	พ.ศ. 2547	วท.บ. (ประมง) มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่
ประวัติการทำงาน	พ.ศ. 2551 – ปัจจุบัน	เจ้าหน้าที่วิเคราะห์นโยบายและแผน สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดเชียงราย