บทที่ 4

ผลการศึกษาวิจัย

ผลการศึกษาพิษเฉียบพลัน

ผลการศึกษาระดับความเข้มข้นของสารละลายปรอทและตะกั่ว ที่ทำให้ลูกปลาตะเพียนขาว และไรน้ำแดงตาย 50 เปอร์เซนต์ (Median lethal concentration, LC_{50}) ในช่วงเวลา 48 และ 96 ชั่วโมงตามลำดับ โดยนำจำนวนการตายสะสมของสัตว์ทดลอง ในระยะเวลาต่าง ๆ มาคำนวณค่า LC_{50} โดยใช้โปรแกรม SPSS-X release 3.0 ซึ่งแสดงไว้ในภาคผนวก ก

1. ปลาตะเพียนขาว

1.1 พิษเฉียบพลันของเมอร์คิวริคคลอไรด์

ระดับความเข้มข้นของปรอท ที่ทำให้ปลาตะเพียนขาวตาย 50 เปอร์เซนต์ ในช่วงเวลา 24 48 และ 96 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 0.91 0.39 และ 0.22 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1

1.2 พิษเฉียบพลันของเลดไนเตรท

ระดับความเข้มข้นของตะกั่ว ที่ทำให้ปลาตะเพียนขาวตาย 50 เปอร์เซนต์ ในช่วงเวลา 24 48 และ 96 ชั่วโมง มีค่าเท่ากัน คือ 70.23 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.2

รูปที่ 4.3 แสดงเส้นโค้งความเป็นพิษของสารละลายเมอร์คิวริคคลอไรด์ และสารละลายเลดไนเตรท กราฟของสารละลายเมอร์คิวริคคลอไรด์ เส้นกราฟ ไม่ขนานกับแกนตั้ง ความเป็นพิษของสารละลายเป็นแบบพิษสะสมต่อปลาตะเพียนขาว กราฟของสารละลายเลดไนเตรท ซึ่งขนานกับแกนตั้งที่ระดับความเข้มข้นต่ำสุด 70.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ปลามีการตายคงที่หลังจากระยะสัมผัสกับสารละลาย 24 ชั่วโมง

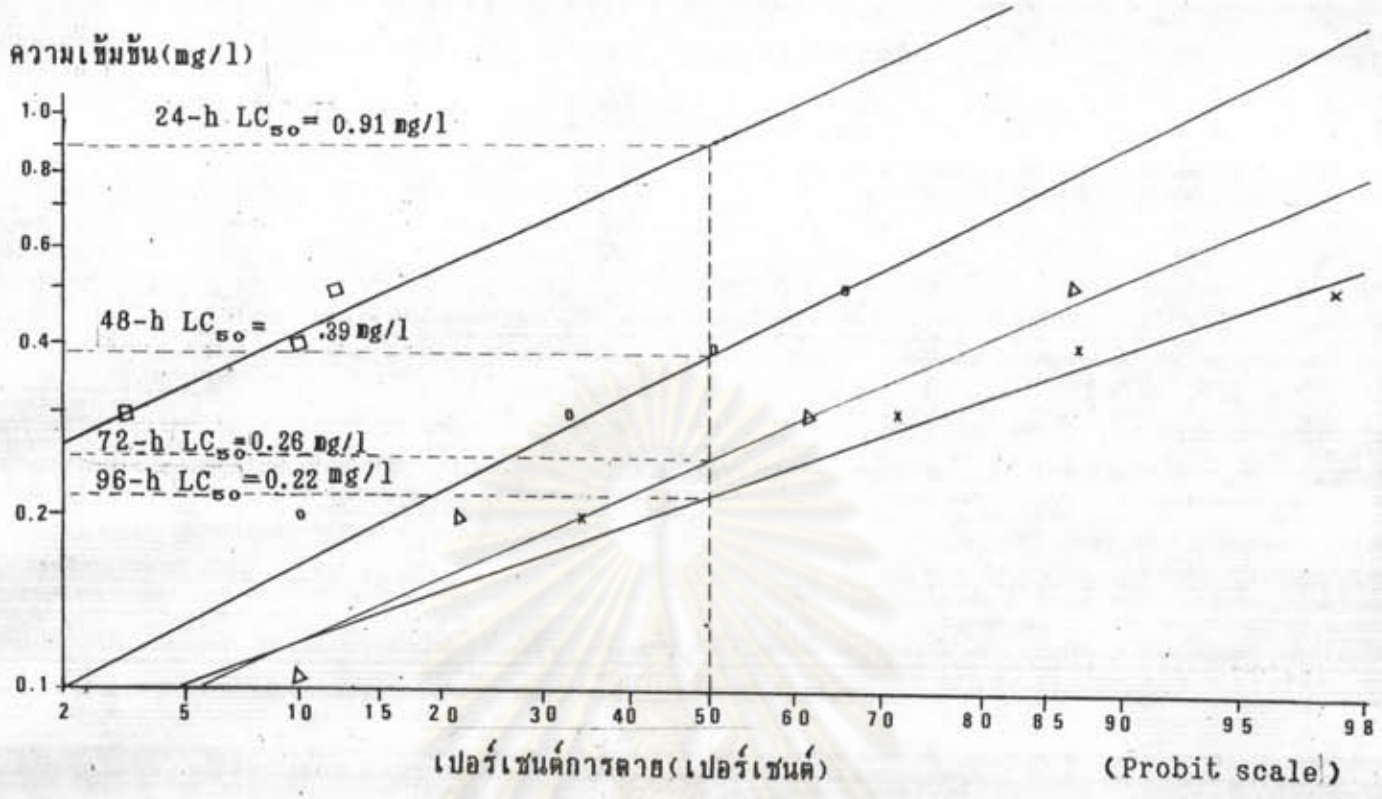
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองพิษเฉียบพลันของเมอร์คิวริคคลอไรด์ที่มีต่อปลาตะเพียนขาวในช่วงเวลา 96 ชั่วโมง

ความเข้มข้น	จำนวนสัตว์ทดลอง	จำนวนและเปอร์เซ็นต์การตายสะสมของสัตว์ทดลองในระยะเวลาต่าง ๆ						
		3 ชม.	6 ชม.	12 ชม.	24 ชม.	48 ชม.	72 ชม.	96 ชม.
(mg/l)	(ตัว)	จำนวน %	จำนวน %	จำนวน %	จำนวน %	จำนวน %	จำนวน %	จำนวน %
0.5	40	0 0	0 0	3 7.5	5 12.5	27 67.5	35 87.5	39 97.5
0.4	40	0 0	0 0	2 5	4 10	20 50	32 80	35 87.5
0.3	40	0 0	0 0	0 0	1 2.5	13 32.5	25 62.5	29 72.5
0.2	40	0 0	0 0	0 0	0 0	4 10	9 22.5	14 35
0.1	40	0 0	0 0	0 0	0 0	2 5	4 10	5 12.5
0 (กลุ่มควบคุม)	40	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
LC_{50} (mg/l) (คำนวณโดยโปรแกรม SPSS-X)		0	0	0	0.91	0.39	0.26	0.22
ช่วงความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์		-	-	-	(.63-15)	(.35-.48)	(.22-.29)	(.19-.24)

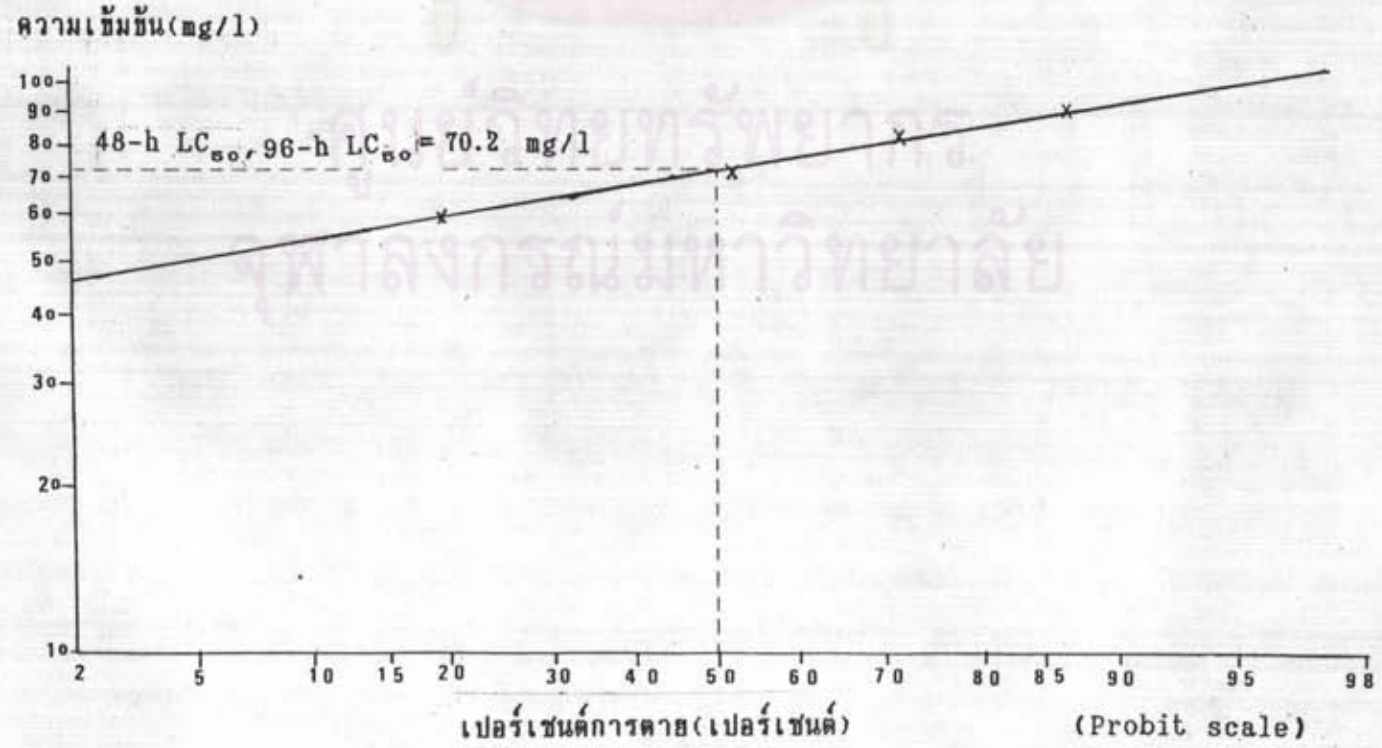
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองพิษเฉียบพลันของเลดไนเตรทที่มีต่อปลาตะเพียนขาวในช่วงเวลา 96 ชั่วโมง

ความเข้มข้น	จำนวนปลา	จำนวนและเปอร์เซ็นต์การตายสะสมของปลาในช่วงเวลาต่าง ๆ											
		3 ชม.		6 ชม.		12 ชม.		24 ชม.		48 ชม.		72 ชม.		96 ชม.	
(mg/l)	(ตัว)	จำนวน	%	จำนวน	%	จำนวน	%	จำนวน	%	จำนวน	%	จำนวน	%	จำนวน	%
100	40	5	12.5	23	57.5	34	85	40	100	40	100	40	100	40	100
90	40	2	5	8	20	29	72.5	35	87.5	35	87.5	35	87.5	35	87.5
80	40	0	0	2	5	22	55	29	72.5	29	72.5	29	72.5	29	72.5
70	40	0	0	0	0	15	37.5	21	52.5	21	52.5	21	52.5	21	52.5
60	40	0	0	0	0	3	7.5	8	20	8	20	8	20	8	20
0 (กลุ่มควบคุม)	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LC_{50} (mg/l) (คำนวณจากโปรแกรม SPSS-X)		-		98.2		78.2		70.2		70.2		70.2		70.2	
ช่วงความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์		-		(95.1-103.2)		(74.7-81.8)		(66.9-73.0)		(66.9-73.0)		(66.9-73)		(66.9-73.0)	

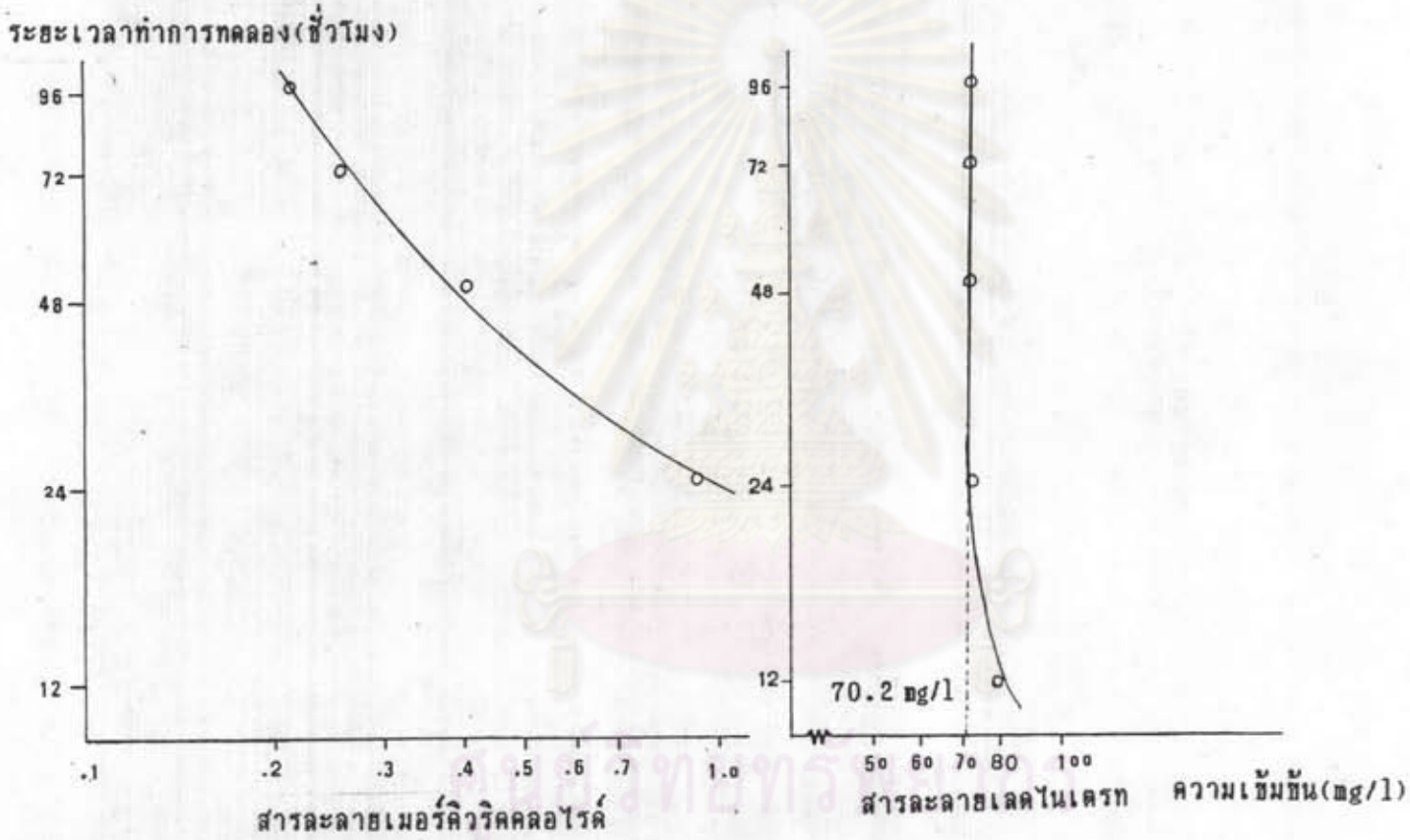
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.1 ระดับความเข้มข้นของสารละลายเมอร์คิวริคคลอไรด์ที่ทำให้ปลาตะเพียนขาว ตาย 50 เปอร์เซนต์



รูปที่ 4.2 ระดับความเข้มข้นของสารละลายเลดไนเตรทที่ทำให้ปลาตะเพียนขาว ตาย 50 เปอร์เซนต์



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงเส้นโค้งความเป็นพิษของสารละลายเมอร์คิวริคคลอไรด์และเลดไนเตรท

ต่อปลาตะเพียนขาว

1.3 ผลกระทบของสารละลายโลหะหนักต่อพฤติกรรมของลูกปลา

ลูกปลาที่เลี้ยงในสารละลายเมอร์คิวริคคลอไรด์ ความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมพบว่า ในระยะแรกปลามีอาการตื่นตกใจ การว่ายน้ำเป็นไปอย่างรวดเร็วและไม่รวมกลุ่มกัน การปิดเปิดของกระพุ้งแก้ม (operculum) รวดเร็วกว่าปลาในกลุ่มควบคุม ต่อมาประมาณ 10 ชั่วโมง ลูกปลาในสารละลายเข้มข้น 0.5 และ 0.4 มิลลิกรัมต่อลิตร มีอาการเซื่องซึมลง และมีบางตัวลอยหัวอยู่บริเวณผิวน้ำ การปิดเปิดของกระพุ้งแก้มช้ากว่าปลาในกลุ่มควบคุมมาก ในที่สุดปลาจะหงายท้องขึ้นการปิดเปิดของกระพุ้งแก้มหยุดลงและค่อย ๆ จมลงสู่ก้นภาชนะและตายในช่วงเวลา 12 ชั่วโมงต่อมา เปอร์เซนต์การตายสะสมของลูกปลาในสารละลายความเข้มข้นต่าง ๆ เพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลา 96 ชั่วโมงที่ทำการทดลอง นอกจากนี้พบว่าลูกปลาที่เหลือรอดจากการทดลอง บางตัวมีสีคล้ำขึ้นและผอมลง บางตัวมีลำตัวคดงอและซ้ำเป็นสีแดงบริเวณโคนหาง ส่วนลูกปลาที่เลี้ยงไปในสารละลายเลดไนเตรทความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่าในสารละลายเข้มข้น 90 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปลาว่ายน้ำอย่างรวดเร็ว ไม่เกาะกลุ่มกันและพยายามหนีออกจากภาชนะที่ทำการทดลอง แต่ต่อมาประมาณ 2 ถึง 3 ชั่วโมงปลาก็หยุดว่ายน้ำและลอยตัวนิ่ง ๆ อยู่บริเวณผิวน้ำ และตายภายในระยะเวลา 3 ชั่วโมงเท่านั้น เปอร์เซนต์การตายสะสมของปลาสิ้นสุดลงในระยะเวลา 24 ชั่วโมง ปลาที่รอดตายมีตะกอนสีขาวของตะกั่วเกาะอยู่ตามลำตัวและครีบต่าง ๆ แต่ไม่มีอาการผิดปกติเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม

1.4 การตกตะกอน (precipitation) ของสารละลายโลหะหนัก

พบว่าสารละลายเลดไนเตรทในโหลแก้ว ที่ใช้ทดลองเกี่ยวกับปลาตะเพียนขาว เกิดตะกอนสีขาวขุ่น โดยเฉพาะในระดับความเข้มข้นสูง พบตะกอนสีขาวขุ่นมากขึ้น ตะกอนที่เกิดมีลักษณะแน่น และจับตัวกันอยู่ก้นภาชนะและบริเวณผิวภาชนะแก้วที่ใช้ทดลอง ทั้งนี้เนื่องจากน้ำที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำกระด้างค่อนข้างสูง คือประมาณ 100 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต เมื่อทดสอบการลดลงของความเข้มข้นของปริมาณตะกั่ว ที่อยู่ในภาชนะแก้วที่ทำการทดลอง (เลดไนเตรทความเข้มข้นเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร) โดยวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Atomic absorbtion spectrophotometer พบว่าลดลง 6.0 17.0 และ 28.0 เปอร์เซนต์ เมื่อเวลาผ่านไป 24 48 และ 72 ชั่วโมง ตามลำดับ ส่วนสารละลายเมอร์คิวริคคลอไรด์ไม่พบตะกอนใด ๆ เกิดขึ้นในภาชนะแก้วที่ทำการทดลอง เมื่อสุ่มตัวอย่างน้ำ (ความเข้มข้นเริ่มต้น 0.4 มิลลิกรัม

ต่อลิตร)ไป วัดปริมาณปรอทเมื่อเวลาผ่านไป พบว่า ลดลง 1.0 17.5 และ 20 เปอร์เซนต์ เมื่อเวลาผ่านไป 24 48 และ 72 ชั่วโมง ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.5

2. ไรน้ำแดง

2.1 พิษเฉียบพลันของเมอร์คิวริคคลอไรด์

ระดับความเข้มข้นของปรอทที่ทำให้ไรน้ำแดงตาย 50 เปอร์เซนต์ ในช่วงเวลา 24 และ 48 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 0.015 และ 0.009 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.4

2.2 พิษเฉียบพลันของเลดไนเตรท

ระดับ ความเข้มข้นของตะกั่วที่ทำให้ไรน้ำแดงตาย 50 เปอร์เซนต์ในช่วงเวลา 24 และ 48 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 0.85 และ 0.65 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.5

รูปที่ 4.6 กราฟเส้นโค้งความเป็นพิษของสารละลายโลหะหนักทั้งสองชนิด เส้นกราฟไม่ขนานกับแกนตั้ง ความเป็นพิษของสารละลายทั้งสองชนิดต่อไรน้ำแดงเป็นแบบพิษสะสม

2.3 ผลกระทบของสารละลายโลหะหนักต่อไรน้ำแดง

ไรน้ำแดงที่นำลงในสารละลายโลหะหนักทั้งสองชนิด เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมในระยะก่อนตาย ไม่สามารถสังเกตความแตกต่าง เช่น การว่ายน้ำ การลอยตัวของไรน้ำแดงในสารละลายได้อย่างชัดเจน ส่วนใหญ่จะว่ายน้ำลงไปอยู่ที่ก้นบิกเกอร์ และมักรวมตัวกันในบริเวณที่มีแสงสว่าง ต่อมาว่ายน้ำช้าลงและลำตัวมีสีซีดจางลง แล้วหยุดการเคลื่อนที่และตายในช่วงเวลาประมาณ 6 ชั่งโมงต่อมา ในระหว่างทำการทดลองพบว่า หลังจากใส่ไรน้ำแดงลงไป 24 ชั่วโมง แล้วมีไรน้ำแดงบางตัวในสารละลายโลหะหนักทั้งสองชนิดและกลุ่มควบคุมให้ลูกออกมา จึงใช้หลอดหยดดูดไรน้ำแดงตัวแม่ ลงสู่บิกเกอร์ที่เตรียมสารละลายใหม่ไว้ ส่วนลูกไรน้ำแดงปล่อยทิ้งไป จากการสังเกตพบว่า ลูกไรน้ำแดงที่เกิดขึ้น มีจำนวนลดลง เมื่อสารละลายโลหะหนักมีความเข้มข้นสูงขึ้น ส่วนเปอร์เซนต์การตายสะสมของไรน้ำแดงในสารละลายโลหะหนักทั้งสองชนิดเพิ่มขึ้นตลอด 48 ชั่วโมง

2.4 การตกตะกอนของสารละลายโลหะหนัก

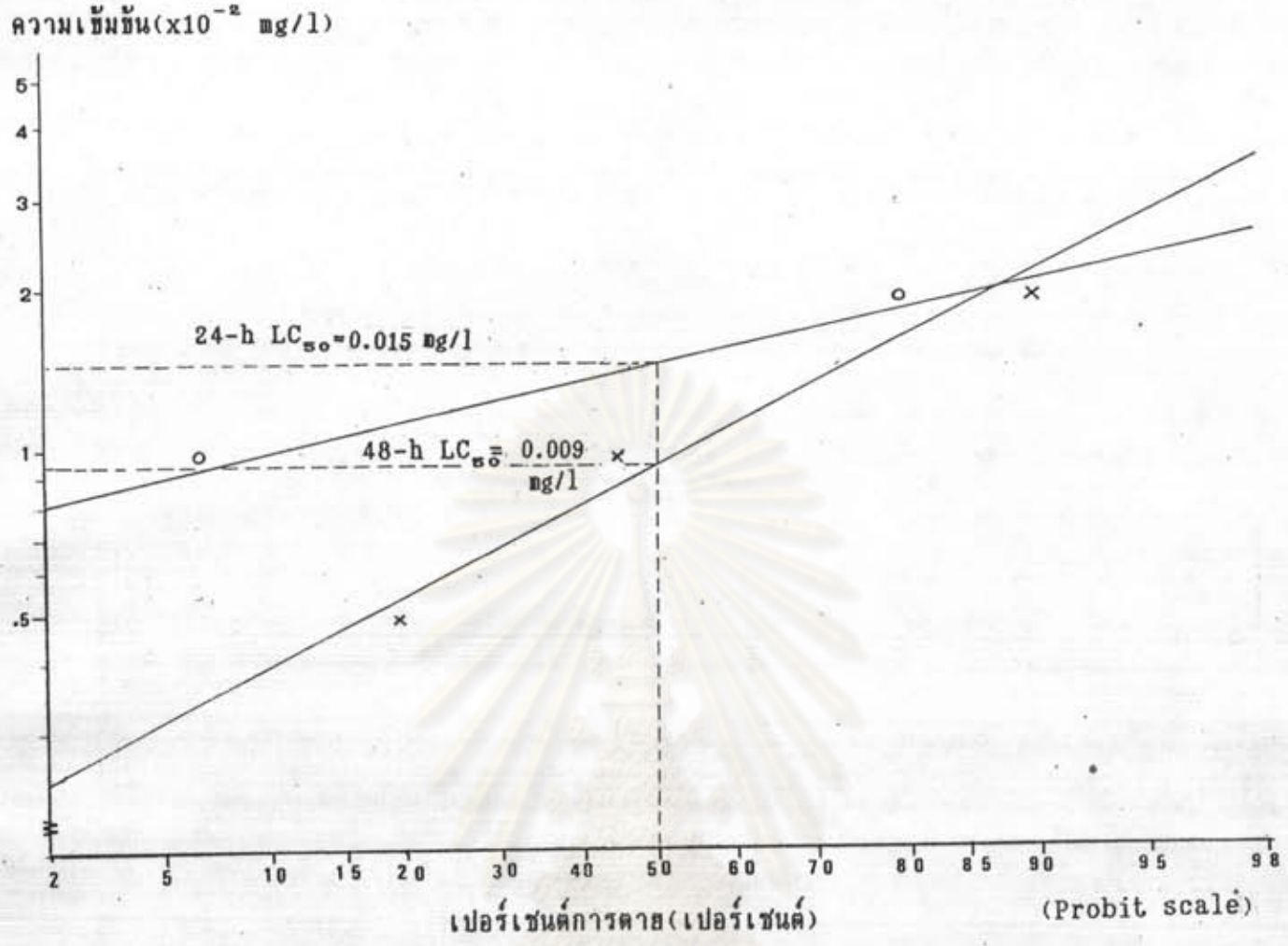
ไม่พบตะกอนของสารละลายโลหะหนักทั้งสองชนิดในบิกเกอร์ที่ทำการทดลอง ระหว่างทดลองได้เปลี่ยนสารละลายใหม่ทุกๆ 24 ชั่วโมงเพื่อรักษาระดับความเข้มข้นของสารละลาย

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองพิษเฉียบพลันของเมอร์คิวริคคลอไรด์ ต่อไรน้ำแดงในช่วงเวลา 48 ชั่วโมง

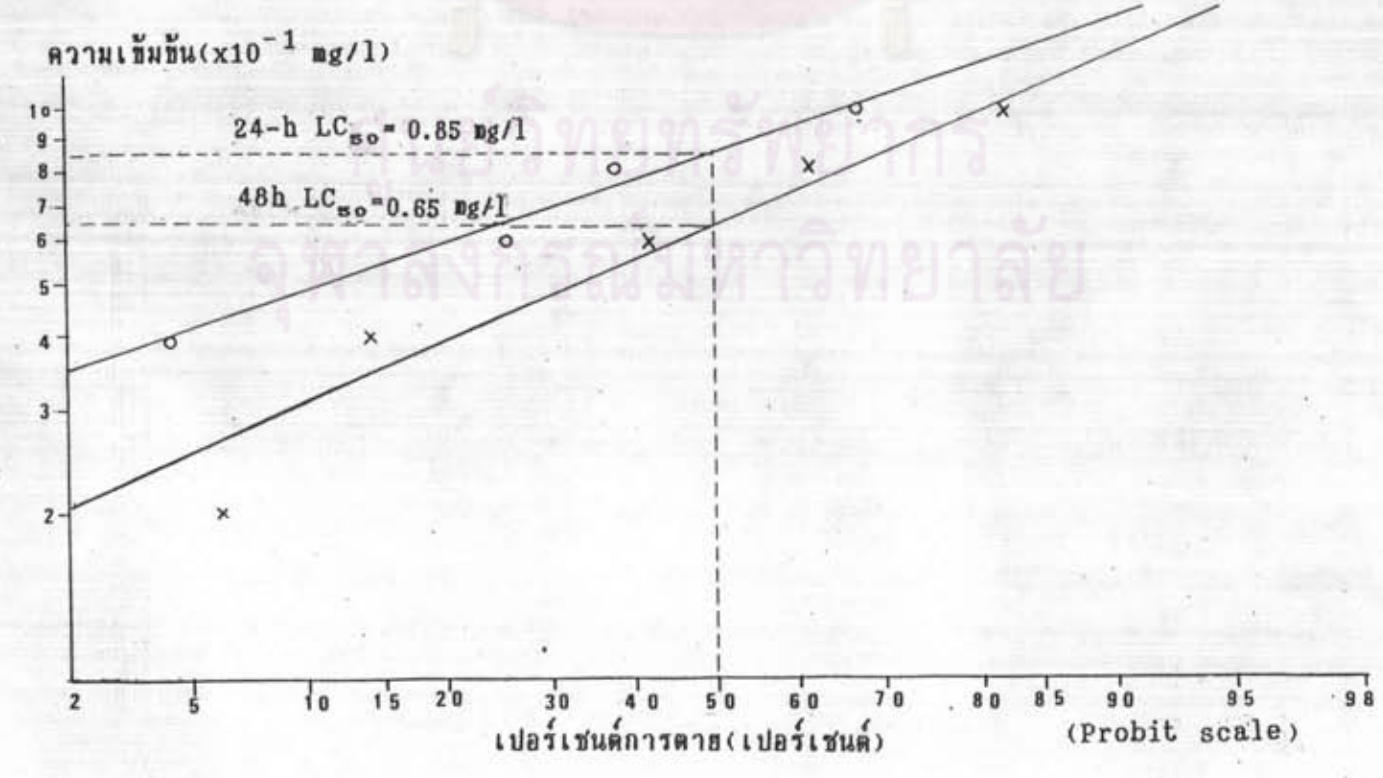
ความเข้มข้น	ไรน้ำแดง	จำนวนและเปอร์เซนต์การตายสะสมของสัตว์ทดลองในช่วงเวลาต่าง ๆ									
		3 ชม.		6 ชม.		12 ชม.		24 ชม.		48 ชม.	
(mg/l)	(ตัว)	จำนวน	%	จำนวน	%	จำนวน	%	จำนวน	%	จำนวน	%
0.04	60	0	0	26	43.3	59	98.3	60	100	60	100
0.03	60	0	0	17	28.3	57	95	60	100	60	100
0.02	60	0	0	8	13.3	29	48.3	48	80	54	90
0.01	60	0	0	0	0	3	5	4	6.7	28	46.7
0.005	60	0	0	0	0	0	0	0	0	12	20
0 (กลุ่มควบคุม)	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LC_{50} (mg/l) (คำนวณจากโปรแกรม SPSS-X)		-		-		0.019		0.015		0.009	
ช่วงความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์		-		-		(.017-.21)		(.014-.017)		(.008-.01)	

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลอง พิษเฉียบพลันของเอดไนเตรทที่มีต่อไรน้ำแดงในช่วงเวลา 48 ชั่วโมง

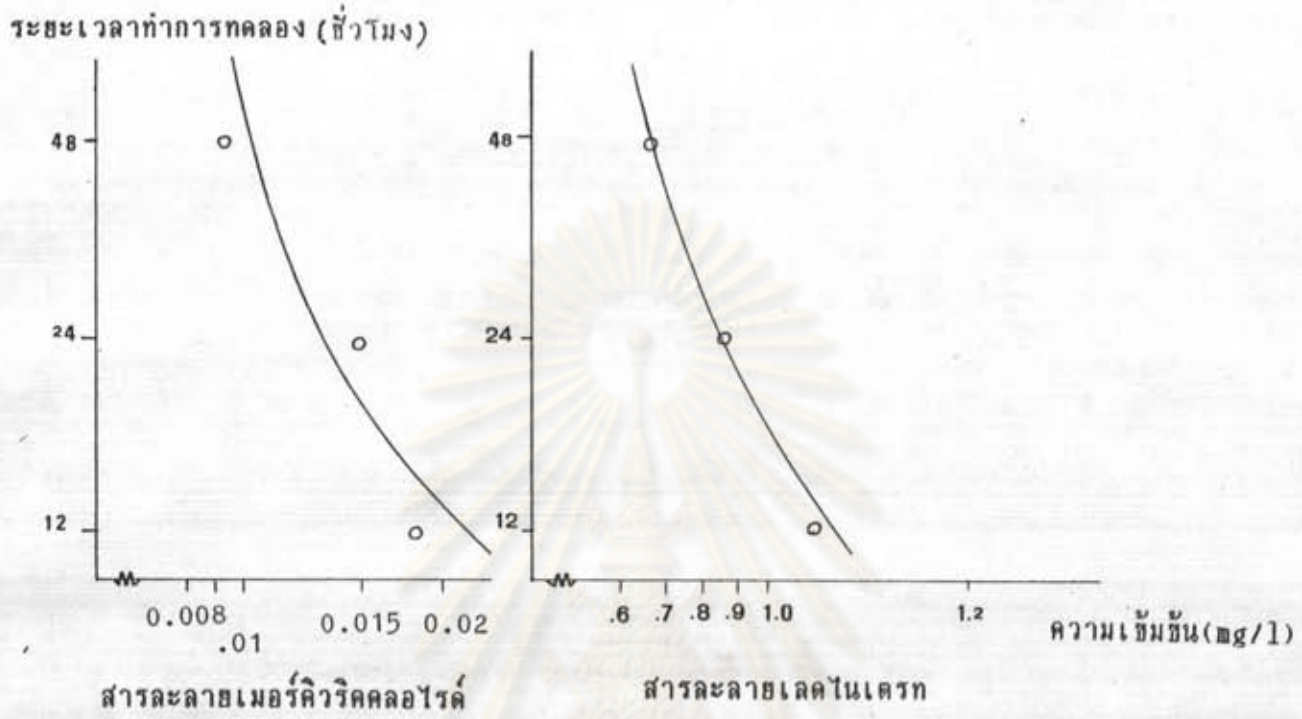
ความเข้มข้นของตะกั่ว (mg/l)	ไรน้ำแดง (ตัว)	จำนวนและเปอร์เซ็นต์การตายสะสมของสัตว์ทดลองในช่วงเวลาต่าง ๆ									
		3 ชม.		6 ชม.		12 ชม.		24 ชม.		48 ชม.	
		จำนวน	%	จำนวน	%	จำนวน	%	จำนวน	%	จำนวน	%
1.0	50	0	0	2	4	17	34	34	68	41	82
0.8	50	0	0	0	0	12	24	19	38	31	62
0.6	50	0	0	0	0	5	10	13	26	21	42
0.4	50	0	0	0	0	0	0	2	4	7	14
0.2	50	0	0	0	0	0	0	0	0	3	6
0 (กลุ่มควบคุม)	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LC_{50} (mg/l) (คำนวณโดยโปรแกรม SPSS-X)		-		-		1.17		0.85		0.65	
ช่วงความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์		-		-		(1.01-1.59)		(0.77-0.95)		(0.58-0.73)	



รูปที่ 4.4 ระดับความเข้มข้นของสารละลายเมอร์คิวริคคลอไรด์ ที่ทำให้ไรน้ำแดงตาย 50 เปอร์เซนต์



รูปที่ 4.5 ระดับความเข้มข้นของสารละลายเลดไนเตรทที่ทำให้ไรน้ำแดง ตาย 50 เปอร์เซนต์



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงเส้นโค้งความเป็นพิษของสารละลายเมอร์คิวริคคลอไรด์และเลดไนเตรท ต่อไรน้ำแดง

ตารางที่ 4.5 แสดงเปอร์เซ็นต์และลักษณะการตกตะกอนของสารละลายโลหะหนัก เมื่อเวลาผ่านไป

สารละลายโลหะหนัก	ปริมาณและลักษณะของตะกอน	เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของสารละลายที่ลดลงเมื่อเวลาผ่านไป (เปอร์เซ็นต์)		
		1 วัน	2 วัน	3 วัน
เมอร์คิวริคคลอไรด์	ไม่มีตะกอน	1.0	17.5	20.0
เลดไนเตรท	สีขาวขุ่น ปริมาณมากพอควร จมลงสู่ก้นภาชนะ	6.0	17.0	28.0

ผลการศึกษาพิษรองเฉียบพลัน

1. ปลาตะเพียนขาว

1.1 พิษรองเฉียบพลันของเมอร์คิวริคคลอไรด์

1.1.1 การใช้ออกซิเจน(oxygen consumption) ลูกปลาตะเพียนขาวที่เลี้ยงไว้ในสารละลายเมอร์คิวริคคลอไรด์ 3 ระดับความเข้มข้น คือ 0.02 0.04 และ 0.06 มิลลิกรัมต่อลิตร ในระยะเวลาที่เริ่มสัมผัสกับสารละลายเมอร์คิวริคคลอไรด์ ประมาณ 30 นาที ปลามีอัตราการใช้ออกซิเจนสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ในระยะเวลา 10 และ 20 วันต่อมา ลูกปลาในสารละลายเข้มข้น 0.06 มิลลิกรัมต่อลิตร กลับมีอัตราการใช้ออกซิเจนต่ำกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนลูกปลาที่เลี้ยงในสารละลายเข้มข้น 0.02 และ 0.04 มิลลิกรัมต่อลิตร มีอัตราการใช้ออกซิเจนไม่แตกต่างกับกลุ่มควบคุม ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.7

1.1.2 การขับถ่ายแอมโมเนีย (NH_3-excretion) การขับถ่ายแอมโมเนียของลูกปลา ในสารละลายเมอร์คิวริคคลอไรด์ความเข้มข้นต่าง ๆ และกลุ่มควบคุม มีความแปรปรวนมาก ไม่สามารถนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติได้ ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.7

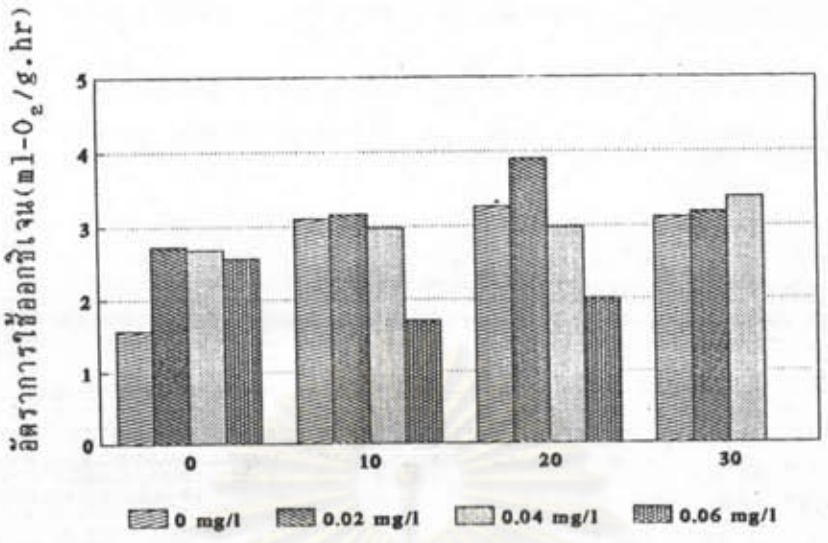
1.1.3 การเติบโต (growth) ของลูกปลาตะเพียนขาว ที่เลี้ยงไว้ในสารละลายเมอร์คิวริคคลอไรด์ 3 ระดับความเข้มข้น และกลุ่มควบคุมในช่วง 20 วัน โดยกลุ่มควบคุมน้ำหนักเฉลี่ยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ลูกปลาที่อยู่ในสารละลายเมอร์คิวริคคลอไรด์ความเข้มข้นต่างๆ มีแนวโน้มลดลง โดยปลาที่อยู่ในกลุ่มควบคุมและในสารละลายปรอทเข้มข้น 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร มีน้ำหนักไม่เพิ่มขึ้นหลังจากเลี้ยงไว้ในภาชนะแก้ว 20 วัน ปลาในสารละลายปรอทเข้มข้น 0.04 มิลลิกรัมต่อลิตร มีน้ำหนักเฉลี่ยไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุมมากนัก ปลาในสารละลาย 0.06 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเลี้ยงไว้ครบ 30 วันพบว่า ในชุดการทดลองที่ 2 และ 3 ปลาตายเกือบหมดภาชนะ นอกจากนี้ในระหว่างทำการทดลอง มีปลาบางตัวตายและมีปลาบางตัวเติบโตเร็วกว่าปลาตัวอื่นๆ ทำให้ไม่สามารถนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติได้ นอกจากนี้ในช่วง 10 วันสุดท้ายของการทดลอง น้ำหนักปลาเฉลี่ยในกลุ่มควบคุมและในสารละลายปรอทความ

ตารางที่ 4.6 แสดงอัตราการใช้ออกซิเจนของปลาตะเพียนขาวที่เลี้ยงในสารละลายเมอร์คิวริคคลอไรด์ 3 ระดับความเข้มข้นในช่วงเวลา 30 วัน

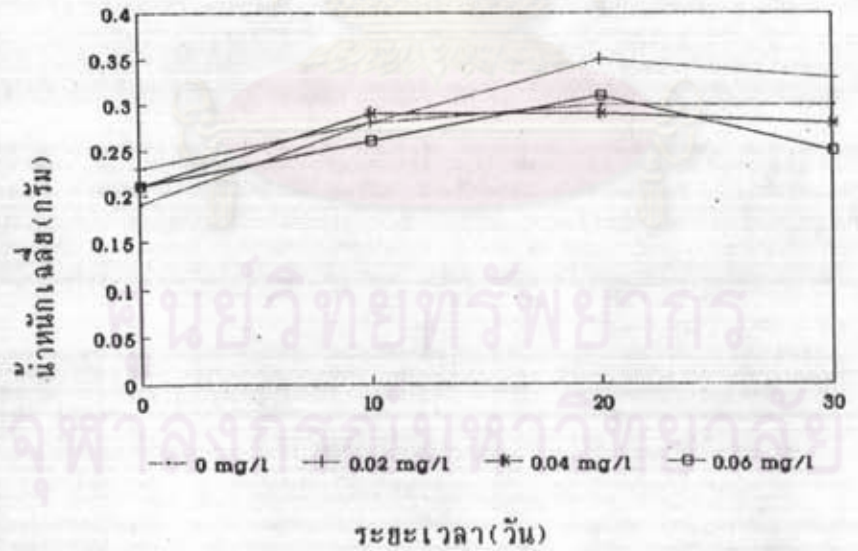
ความเข้มข้นของปรอท (mg/l)	ปริมาณออกซิเจนเฉลี่ยที่ปลาตะเพียนขาวใช้ (ml-O_2/g.hr)			
	ระยะเวลาที่ทำการทดลอง (วัน)			
	0	10	20	30
0.06	2.57 ^{b} ± 0.44	1.72 ^{b} ± 0.27	2.01 ^{c} ± 0.34	-- *
0.04	2.69 ^{b} ± 0.29	2.98 ^{a} ± 0.41	2.98 ^{a} ± 0.38	3.39 ^{a} ± 0.27
0.02	2.73 ^{b} ± 0.65	3.17 ^{a} ± 0.38	3.91 ^{b} ± 0.76	3.19 ^{a} ± 0.52
0 (กลุ่มควบคุม)	1.58 ^{a} ± 0.16	3.11 ^{a} ± 0.19	3.27 ^{ab} ± 0.37	3.12 ^{a} ± 0.31

หมายเหตุ ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ตัวอักษร 2 ตัว เช่น ab หมายความว่าค่าเฉลี่ยนั้นไม่มีความแตกต่างจาก a และไม่แตกต่างจาก b ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

* ไม่นำมาวิเคราะห์ค่าทางสถิติเพราะจำนวนปลาที่เหลือรอดมีเพียง 1-2 ตัวเท่านั้น



รูปที่ 4.7 การใช้ออกซิเจนของปลาในสารละลายเมอร์คิวริคคลอไรด์ในช่วงเวลา 30 วัน



รูปที่ 4.8 น้ำหนักปลาในสารละลายเมอร์คิวริคคลอไรด์ในช่วงเวลา 30 วัน

ตารางที่ 4.7 แสดงปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนที่ปลาขับถ่ายออกมาในสารละลายเมอร์คิวริคคลอไรด์ในช่วงเวลา 30 วัน

ระยะเวลาทำการทดลอง (วัน)	ความเข้มข้น (mg/l)	ปริมาณแอมโมเนียต่อน้ำหนักปลาใน 3 ชุดการทดลอง ($\mu g\text{-}NH_3/l/gm$)			ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
		1	2	3	($\bar{X} \pm SD$)
0	0.06	3.70	4.30	1.00	3.0 ± 1.44
	0.04	1.20	3.70	1.40	2.1 ± 1.13
	0.02	3.50	2.80	2.20	2.8 ± 0.53
	0 (กลุ่มควบคุม)	2.70	1.40	3.54	2.5 ± 0.88
10	0.06	0.20	10.0	2.75	4.3 ± 4.19
	0.04	3.70	9.60	0.80	4.7 ± 3.66
	0.02	2.80	14.0	2.55	6.5 ± 5.30
	0	1.40	13.0	0.15	4.9 ± 5.79
20	0.06	8.20	2.75	7.00	5.9 ± 2.34
	0.04	2.10	0.75	0.75	1.2 ± 0.59
	0.02	5.00	0.50	0.20	1.9 ± 2.19
	0	3.10	1.70	0.10	1.6 ± 1.23
30	0.06	- *	- *	- *	---
	0.04	6.30	2.00	1.90	4.1 ± 2.18
	0.02	8.10	8.40	0.40	5.6 ± 3.70
	0	6.10	6.30	1.50	4.6 ± 2.22

หมายเหตุ * ไม่ทำการวัดเพราะปลามีจำนวนน้อยกว่า 5 ตัวเนื่องจากตายในระหว่างการทดลอง

เข้มข้น 0.02 และ 0.04 ค่อนข้างคงที่ และในช่วงนี้สังเกต พบว่า ปลาไม่ค่อยกินอาหาร ทั้งๆ ที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงปัจจัยใด ๆ ในการทดลอง ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.8

1.1.4 เปอร์เซนต์การตาย(% mortality) ของลูกปลาในสารละลายเมอร์คิวริคคลอไรด์ 3 ระดับความเข้มข้น และกลุ่มควบคุม มีจำนวนเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาผ่านไป โดยพบว่า ในระยะเวลา 30 วัน ปลาในสารละลายเข้มข้น 0.02 0.04 และ 0.06 มิลลิกรัมต่อลิตร มีเปอร์เซนต์การตายสะสม 23.3 60.0 และ 96.7 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ ส่วนปลาในกลุ่มควบคุมมีเปอร์เซนต์การตายสะสมคงที่ คือ 3.3 เปอร์เซนต์ หลังจากระยะเวลา 6 วัน ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.9

1.2 พิษรองเฉียบพลันของเลดไนเตรท

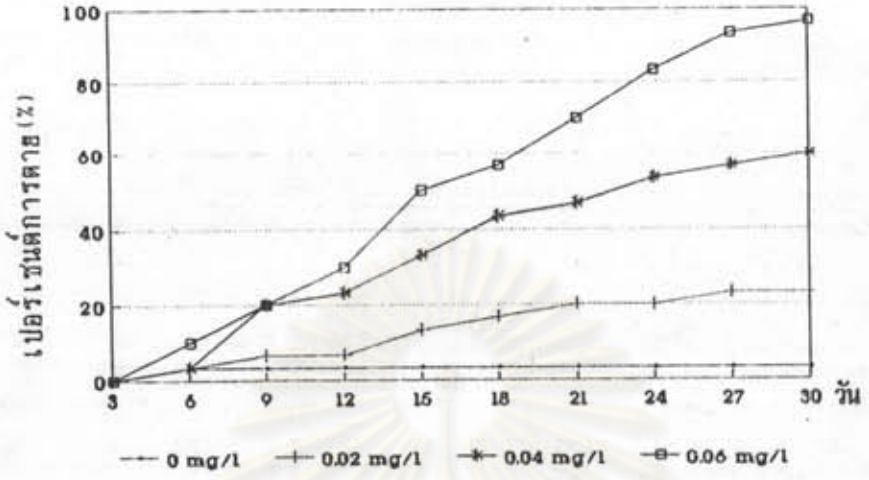
1.2.1 การใช้ออกซิเจน(oxygen consumption)ของลูกปลาตะเพียนขาวที่เลี้ยงไว้ในสารละลายเลดไนเตรท 3 ระดับความเข้มข้น และกลุ่มควบคุม พบว่า อัตราการใช้ออกซิเจนของปลาที่เลี้ยงไว้ในสารละลายเข้มข้น 7.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ไม่ต่างจากกลุ่มควบคุมตลอดระยะเวลา 30 วัน ปลาที่เลี้ยงในสารละลายเข้มข้น 11.7 มิลลิกรัมต่อลิตร ในช่วงแรกมีอัตราการใช้ออกซิเจนไม่ต่างจากกลุ่มควบคุม แต่ในระยะ 10 วันต่อมา พบว่า ปลามีอัตราการใช้ออกซิเจนต่ำกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ แต่หลังจาก 10 วันผ่านไปกลับพบว่า ปลามีอัตราการใช้ออกซิเจน ไม่ต่างกับกลุ่มควบคุมอีกครั้งหนึ่ง ส่วนปลาในสารละลายเข้มข้น 17.6 มิลลิกรัมต่อลิตร มีอัตราการใช้ออกซิเจนต่ำกว่ากลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญตลอดระยะเวลา 30 วัน ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.10 และจากรูปที่ 4.10 เมื่อพิจารณาการใช้ออกซิเจนของลูกปลาในระยะเวลาเดียวกัน แต่ต่างระดับความเข้มข้นกันพบว่า มีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับความเข้มข้นของสารละลายเลดไนเตรทมีความเข้มข้นสูงขึ้น

1.2.2 การขับถ่ายแอมโมเนีย (NH_3-excretion) ของปลาตะเพียนขาวที่เลี้ยงไว้ในสารละลายเลดไนเตรท 3 ระดับความเข้มข้น และกลุ่มควบคุม มีความแปรผันสูงสูงมาก ผิดเงื่อนไขของการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ จึงไม่สามารถทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของการขับถ่ายแอมโมเนียของลูกปลาเทียบกับกลุ่มควบคุมได้ ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.11

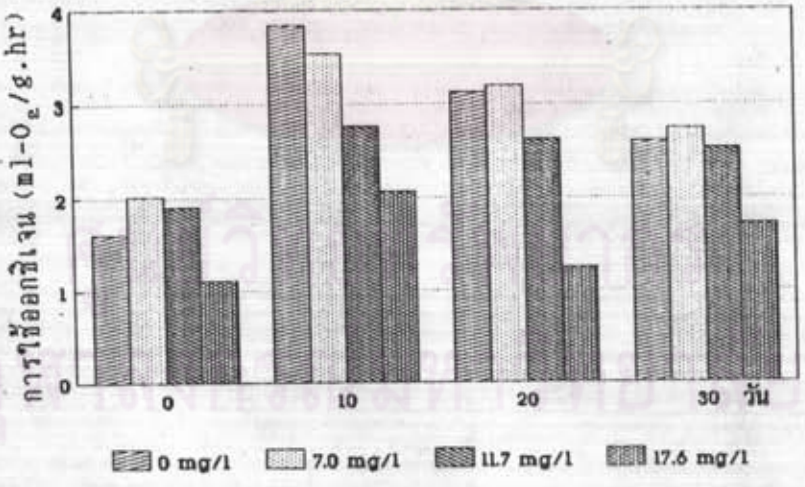
ตารางที่ 4.8 แสดงน้ำหนักปลาตะเพียนขาวที่เลี้ยงในสารละลายเมอร์คิวริคคลอไรด์ ในระยะเวลา 30 วัน (เฉลี่ยจากปลา 3 ชุดการทดลอง)

ระยะเวลาทำการทดลอง (วัน)	ความเข้มข้นของปรอท (mg/l)	น้ำหนักปลาเฉลี่ยต่อตัว (กรัม) ($\bar{X} \pm SD$)
0	0.06	0.21 ± 0.03
	0.04	0.21 ± 0.04
	0.02	0.23 ± 0.05
	0 (กลุ่มควบคุม)	0.19 ± 0.04
10	0.06	0.26 ± 0.02
	0.04	0.29 ± 0.05
	0.02	0.28 ± 0.07
	0	0.28 ± 0.07
20	0.06	0.48 ± 0.12
	0.04	0.29 ± 0.05
	0.02	0.35 ± 0.03
	0	0.30 ± 0.03
30	0.06	0.25 ± 0.00
	0.04	0.28 ± 0.08
	0.02	0.33 ± 0.02
	0	0.30 ± 0.03

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.9 เปอร์เซ็นต์การตายสะสมของปลาตะเพียนขาวในสารละลายเมอร์คิวริคคลอไรด์ ในระยะเวลา 30 วัน



รูปที่ 4.10 การใช้ออกซิเจนของปลาตะเพียนขาวในสารละลายเลดไนเตรท ในช่วงเวลา 30 วัน

ตารางที่ 4.9 แสดงจำนวนและเปอร์เซ็นต์การตายสะสมของปลาตะเพียนขาวในสารละลายเมอร์คิวริคคลอไรด์ในระยะเวลา 30 วัน

ความเข้มข้นของปรอท (mg/l)	จำนวนและเปอร์เซ็นต์การตายสะสมของปลาตะเพียนขาว									
	ช่วงเวลาที่ทำการทดลอง (วัน)									
	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
	no. %	no. %	no. %	no. %	no. %	no. %	no. %	no. %	no. %	no. %
0.06	0 0	3 10	6 20	9 30	15 50	17 56.7	21 70	25 83.3	28 93.3	29 96.7
0.04	0 0	1 3.3	6 20	7 23.3	10 33.3	13 43.3	14 46.7	16 53.3	17 56.7	18 60
0.02	0 0	1 3.3	2 6.7	2 6.7	4 13.3	5 16.7	6 20	6 20	7 23.3	7 23.3
0 (กลุ่มควบคุม)	0 0	1 3.3	1 3.3	1 3.3	1 3.3	1 3.3	1 3.3	1 3.3	1 3.3	1 3.3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.10 แสดงอัตราการใช้ออกซิเจนของปลาตะเพียนขาวที่เลี้ยงในสารละลายเลดไนเตรท 3 ระดับความเข้มข้นในช่วงเวลา 30 วัน

ความเข้มข้นของตะกั่ว (mg/l)	ปริมาณออกซิเจนเฉลี่ยที่ปลาตะเพียนขาวใช้ (ml-O_2/g.hr) ($\bar{X} \pm SD$)			
	ระยะเวลาที่ทำการทดลอง (วัน)			
	0	10	20	30
11.6	1.11 $^{b} \pm$ 0.29	2.07 $^{c} \pm$ 0.33	1.25 $^{c} \pm$ 0.10	1.72 $^{b} \pm$ 0.39
11.7	1.91 $^{a} \pm$ 0.34	2.77 $^{b} \pm$ 0.21	2.63 $^{b} \pm$ 0.49	2.53 $^{a} \pm$ 0.61
7.0	2.02 $^{a} \pm$ 0.39	3.53 $^{a} \pm$ 0.67	3.19 $^{a} \pm$ 0.26	2.74 $^{a} \pm$ 0.37
0 (กลุ่มควบคุม)	1.62 $^{a} \pm$ 0.29	3.84 $^{a} \pm$ 0.37	3.12 $^{ab} \pm$ 0.43	2.61 $^{a} \pm$ 0.42

หมายเหตุ ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ตัวอักษร 2 ตัว เช่น ab หมายความว่าค่าเฉลี่ยนั้นไม่มีความแตกต่างจาก a และไม่แตกต่างจาก b ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.11 แสดงปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนที่ปลาขับถ่ายออกมาในสารละลายเลดไนเตรทในช่วงเวลา 30 วัน

ระยะเวลาทำการทดลอง (วัน)	ความเข้มข้นของตะกั่ว (mg/l)	ปริมาณแอมโมเนียต่อน้ำหนักปลาใน 3 ชุดการทดลอง ($\mu g\text{-}NH_3/l/gm$)			ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล ($\bar{X} \pm SD$)
		1	2	3	
0	11.7	4.50	4.90	3.40	4.20 ± 0.63
	7.0	4.80	3.80	3.10	3.90 ± 0.69
	0 (กลุ่มควบคุม)	6.00	6.10	2.30	4.80 ± 1.77
10	17.6	1.45	3.60	2.05	2.37 ± 0.91
	11.7	3.25	7.26	6.60	5.70 ± 1.76
	7.0	3.25	6.80	6.00	5.35 ± 1.52
	0	2.75	6.60	6.80	5.38 ± 1.86
20	17.6	8.25	7.50	2.90	6.22 ± 2.37
	11.7	7.40	7.80	5.00	6.70 ± 1.23
	7.0	7.40	7.70	5.40	6.80 ± 1.02
	0	7.10	7.40	6.00	6.80 ± 0.60
30	17.6	8.45	9.10	7.50	8.35 ± 0.66
	11.7	7.80	6.60	8.40	7.60 ± 0.75
	7.0	7.12	7.42	6.50	7.01 ± 0.38
	0	7.35	7.92	9.10	8.12 ± 0.73

1.2.3 การเติบโต (growth) ของปลาตะเพียนขาวที่เลี้ยงไว้ในสารละลายเลดไนเตรท 3 ระดับความเข้มข้น และกลุ่มควบคุม มีความแปรผันสูง ผิดเงื่อนไขการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ จึงไม่สามารถเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของลูกปลาในสารละลายเลดไนเตรทกับกลุ่มควบคุมได้ ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.12 และรูปที่ 4.11 แต่อย่างไรก็ตาม ผลการทดลองมีแนวโน้มว่า ลูกปลาในสารละลายเลดไนเตรทมีการเติบโตช้ากว่าปลาในกลุ่มควบคุม

1.2.4 เปอร์เซนต์การตาย (%mortality) ของลูกปลาในสารละลายเลดไตเตรท 3 ระดับความเข้มข้น และกลุ่มควบคุมเมื่อเวลาผ่านไปพบว่า ปลาในกลุ่มควบคุมและในสารละลายเข้มข้น 7.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ปลารอดตาย 100 เปอร์เซนต์ ปลาในสารละลายเข้มข้น 11.7 มิลลิกรัมต่อลิตร มีเปอร์เซนต์การตายสะสมคงที่ 3.3 เปอร์เซนต์ หลังจากระยะเวลา 12 วัน ส่วนปลาในสารละลายเข้มข้น 17.6 มิลลิกรัมต่อลิตร มีเปอร์เซนต์การตายสะสมคงที่คือ 10 เปอร์เซนต์หลังจากระยะเวลา 9 วัน ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.13 และรูปที่ 4.12

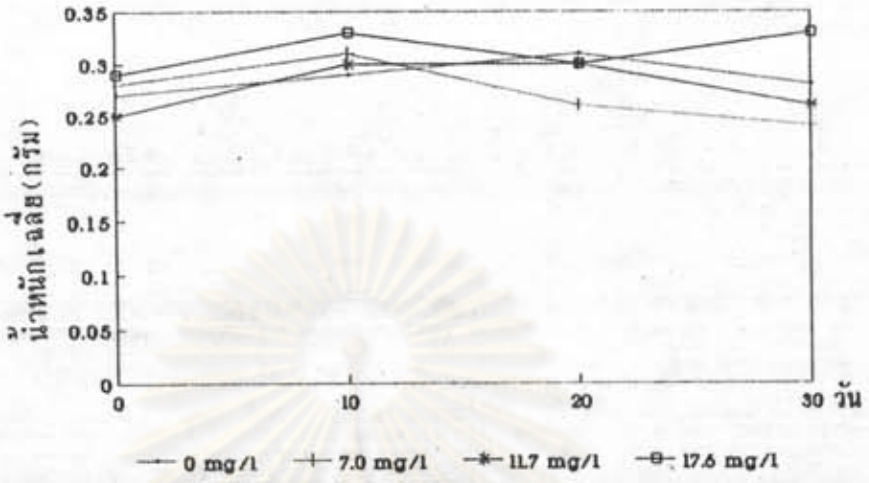
2. ไรน้ำแดง

2.1 พิษรองเฉียบพลันของเมอร์คิวริคคลอไรด์

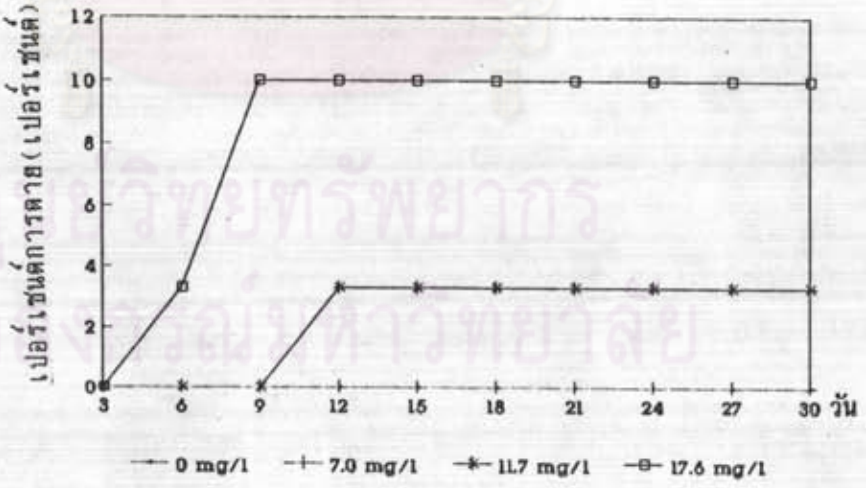
2.1.1 การเติบโตและรูปร่างลักษณะ ผลการสังเกตไรน้ำแดงในสารละลายทดสอบ และกลุ่มควบคุม ด้วยกล้องส่องตา และกล้องจุลทรรศน์ ไม่สามารถสังเกตลักษณะที่ต่างกัน ระหว่างไรน้ำแดงในสารละลายความเข้มข้นต่าง ๆ และชุดควบคุมในแต่ละรุ่นได้ ดังรูปที่ 4.13 และเมื่อนำมาวัดขนาดความยาว พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยมีขนาดความยาวของลำตัวอยู่ระหว่าง 0.6 ถึง 0.9 มิลลิเมตร ลูกไรน้ำแดงเกิดใหม่ เมื่อมีอายุประมาณ 48 ชั่วโมง จะให้กำเนิดลูกชุดใหม่ออกมา จากการสังเกตพบว่า ไรน้ำแดงจะหยุดการเติบโตเมื่ออายุประมาณ 72 ชั่วโมง หรือให้ลูกแล้วประมาณ 1 ถึง 2 ครั้ง และพบว่า ไรน้ำแดงในสารละลายเมอร์คิวริคคลอไรด์ เติบโตช้ากว่ากลุ่มควบคุม แต่ขนาดลำตัวของไรน้ำแดงที่โตเต็มที่เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมมีขนาดไม่แตกต่างกัน การลอกคราบของไรน้ำแดง พบว่าไรน้ำแดงจะลอกคราบ 2 ถึง 3 ครั้ง ในช่วง 4 วัน โดยเริ่มลอกคราบในช่วงอายุ 48 ชั่วโมง จนถึง 96 ชั่วโมง และมักจะ

ตารางที่ 4.12 แสดงน้ำหนักปลาตะเพียนขาวที่เลี้ยงในสารละลายเลดไนเตรท ในระยะเวลา 30 วัน (เฉลี่ยจากปลา 3 ชุดการทดลอง)

ระยะเวลาทำการทดลอง (วัน)	ความเข้มข้นของตะกั่ว (mg/l)	น้ำหนักปลาเฉลี่ยต่อตัว (กรัม) ($\bar{X} \pm SD$)
0	17.6	0.29 ± 0.33
	11.7	0.25 ± 0.05
	7.0	0.28 ± 0.07
	0 (กลุ่มควบคุม)	0.27 ± 0.05
10	17.6	0.33 ± 0.04
	11.7	0.30 ± 0.07
	7.0	0.31 ± 0.08
	0	0.29 ± 0.06
20	17.6	0.30 ± 0.04
	11.7	0.30 ± 0.11
	7.0	0.26 ± 0.05
	0	0.31 ± 0.04
30	17.6	0.33 ± 0.03
	11.7	0.26 ± 0.10
	7.0	0.24 ± 0.12
	0	0.28 ± 0.05



รูปที่ 4.11 แสดงน้ำหนักปลาตะเพียนขาวที่เลี้ยงในสารละลายเลดไนเตรท ในช่วงเวลา 30 วัน



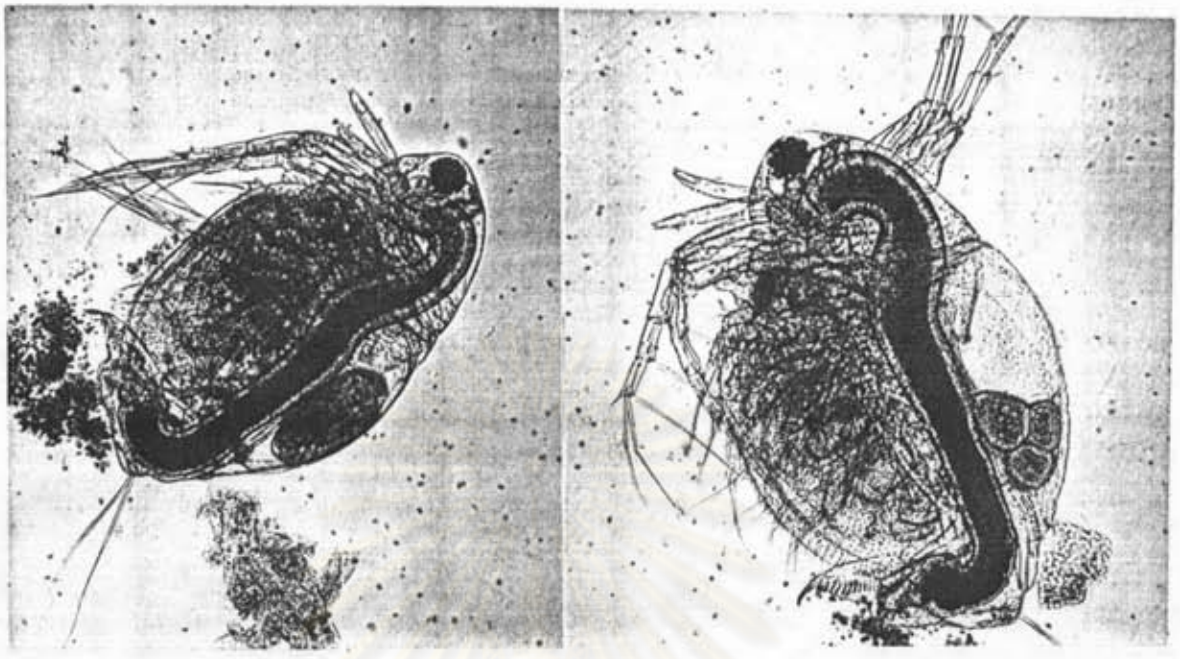
รูปที่ 4.12 เปอร์เซ็นต์การตายสะสมของปลาตะเพียนขาวในสารละลายเลดไนเตรท ในช่วงเวลา 30 วัน

ตารางที่ 4.13 แสดงจำนวนและเปอร์เซนต์การตายสะสมของปลาตะเพียนขาวในสารละลายเลดไนเตรทในระยะเวลา 30 วัน

ความเข้มข้นของตะกั่ว (mg/l)	จำนวนและเปอร์เซนต์การตายสะสมของปลาตะเพียนขาวในระยะเวลาต่าง ๆ									
	ระยะเวลาทำการทดลอง (วัน)									
	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
	no. %	no. %	no. %	no. %	no. %	no. %	no. %	no. %	no. %	no. %
17.6	0 0	1 3.3	3 10	3 10	3 10	3 10	3 10	3 10	3 10	3 10
11.7	0 0	0 0	0 0	1 3.3	1 3.3	1 3.3	1 3.3	1 3.3	1 3.3	1 3.3
7.0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
0 (กลุ่มควบคุม)	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0

ตารางที่ 4.14 ผลของสารละลายเมอร์คิวริคคลอไรด์ต่อจำนวนครั้งเฉลี่ยในการเกิดการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศของไรน้ำแดง

ความเข้มข้นของปรอท (mg/l)	ไรน้ำแดง (ตัว)	จำนวนครั้งเฉลี่ยในการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศของไรน้ำแดง 1 ตัว ในแต่ละรุ่น ($\bar{X} \pm SD$)				
		F_1	F_2	F_3	F_4	F_5
0.003	15	2.7±1.9	3.5±1.7	4.7±2.1	3.5±1.5	5.3±1.7
0.002	15	2.9±1.1	4.3±1.2	3.4±1.4	4.9±1.4	4.5±1.5
0.001	15	3.0±1.3	4.3±1.1	4.2±1.9	4.3±1.9	5.2±1.2
0 (กลุ่มควบคุม)	15	3.2±1.8	4.3±0.9	3.9±2.2	4.2±1.9	4.7±1.6



กลุ่มทดลอง $\times \frac{1}{100}$ กลุ่มควบคุม

รูปที่ 4.13 แสดงลักษณะของไรน้ำแดงในสารละลายเมอร์คิวริคคลอไรด์เทียบกับในกลุ่มควบคุม

ลอกคราบก่อนออกลูกทุกครั้ง ไรน้ำแดงเมื่อใกล้ตายสีของลำตัวจะค่อย ๆ ซีดจางลงจากเดิมซึ่งมีสีแดงเรื่อ ๆ จนกลายเป็นสีขาวและตายในที่สุด

2.1.2 การสืบพันธุ์ของไรน้ำแดง(reproduction) ลูกไรน้ำแดงในรุ่น F_1 ถึง F_5 เมื่อนำมาทดลองพบว่า มีการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ (parthenogenesis) 100 เปอร์เซนต์ในทุกความเข้มข้นของสารละลายทดสอบและกลุ่มควบคุม ไรน้ำแดงที่ทำการทดลองส่วนใหญ่ เริ่มเกิดการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศครั้งแรก เมื่อมีอายุประมาณ 48 ชั่วโมง และจะออกลูกในเวลากลางวัน (ประมาณ 12.00 ถึง 14.00 น.) เฉลี่ยวันละ 1 ครั้งจนกระทั่งตาย โดยไรน้ำแดงจะลอกคราบก่อนออกลูกทุกครั้ง และส่วนใหญ่จะหยุดออกลูกประมาณ 24 ชั่วโมงก่อนตาย จากการทดลองพบว่า มีไรน้ำแดงบางตัวในกลุ่มควบคุม และในสารละลายทดสอบที่ไม่ออกลูกทุกวัน ซึ่งมีประมาณ 10 เปอร์เซนต์ของไรน้ำแดงที่นำมาทำการทดลองทั้งหมด และมีไรน้ำแดงบางตัวที่ออกลูกวันละ 2 ครั้งบ้าง 1 ครั้งบ้างมีประมาณ 10 เปอร์เซนต์ของไรน้ำแดงทั้งหมด ส่วนจำนวนครั้งของการเกิดการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ ของลูกไรน้ำแดงในสารละลายเมอร์คิวริคคลอไรด์ความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อทดสอบความแตกต่างกับชุดควบคุมในแต่ละรุ่น พบว่า ไม่มีความแตกต่าง

อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ดังแสดงในตารางที่ 4.14 ส่วนจำนวนลูกไรน้ำแดงตลอดชีวิตในสารละลายเมอร์คิวริคคลอไรด์ ความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่าไรน้ำแดงทั้ง 5 รุ่น (F_1 ถึง F_5) ในสารละลายเข้มข้น 0.001 มิลลิกรัมต่อลิตร มีจำนวนลูกไม่แตกต่างกับกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญและจำนวนลูกไรน้ำแดงในรุ่นแรก (F_1) ในสารละลายเข้มข้น 0.002 และ 0.003 มิลลิกรัมต่อลิตร มีจำนวนน้อยกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ แต่ในรุ่นต่อมา (F_2 ถึง F_5) มีจำนวนลูกไม่แตกต่างกับกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.15 จากจำนวนลูกไรน้ำแดงในรุ่น F_1 เมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของสารละลายปรอท ที่ทำให้จำนวนลูกไรน้ำแดงลดลงน้อยกว่า 16 เปอร์เซนต์ เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม (16 % reproductive impairment) ซึ่งเป็นระดับความเข้มข้นสูงสุดของปรอท ที่ยอมให้มีในสภาพแวดล้อมที่ไรน้ำแดงอาศัยอยู่ได้ โดยไม่เป็นอันตราย (maximum acceptable toxicant concentration, MATC) ตามวิธีการของ Biesinger and Christensen (1972) พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.001 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังตารางที่ 4.16 และรูปที่ 4.14

2.1.3 อายุของไรน้ำแดง อายุของไรน้ำแดงในสารละลายเมอร์คิวริค-คลอไรด์ ความเข้มข้นต่าง ๆ ในรุ่น F_1 ถึง F_5 เมื่อทดสอบความแตกต่างทางสถิติกับกลุ่มควบคุมภายในรุ่นเดียวกัน พบว่าไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เมื่อเปรียบเทียบอายุของไรน้ำแดงในแต่ละรุ่น พบว่าไรน้ำแดงมีอายุเฉลี่ยสูงขึ้นในรุ่นต่อๆ มาผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.17

2.2 พิษรองเฉียบพลันของเลดไนเตรท

2.2.1 การเติบโตและรูปร่างลักษณะ จากการสังเกตไรน้ำแดงในสารละลายเลดไนเตรทความเข้มข้นต่าง ๆ เทียบกับชุดควบคุมด้วยกล้องสองตา และกล้องจุลทรรศน์ ไม่สามารถสังเกตลักษณะที่แตกต่างกันได้ ดังรูปที่ 4.15 เมื่อวัดขนาดความยาวของลำตัวก็ไม่แตกต่างกันเช่นเดียวกัน โดยมีขนาดความยาวของลำตัวอยู่ระหว่าง 0.6 ถึง 0.9 มิลลิเมตร ไรน้ำแดงเกิดใหม่จะให้ลูกได้เมื่อมีอายุ 48 ชั่วโมง การเพิ่มความยาวลำตัวของไรน้ำแดงในสารละลายเลดไนเตรทความเข้มข้นต่าง ๆ เทียบกับกลุ่มควบคุมไม่แตกต่างกัน และจะหยุดการเติบโตเมื่อมีอายุประมาณ 72 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.15 ผลของสารละลายเมอร์คิวริคคลอไรด์ต่อจำนวนลูกไรน้ำแดง

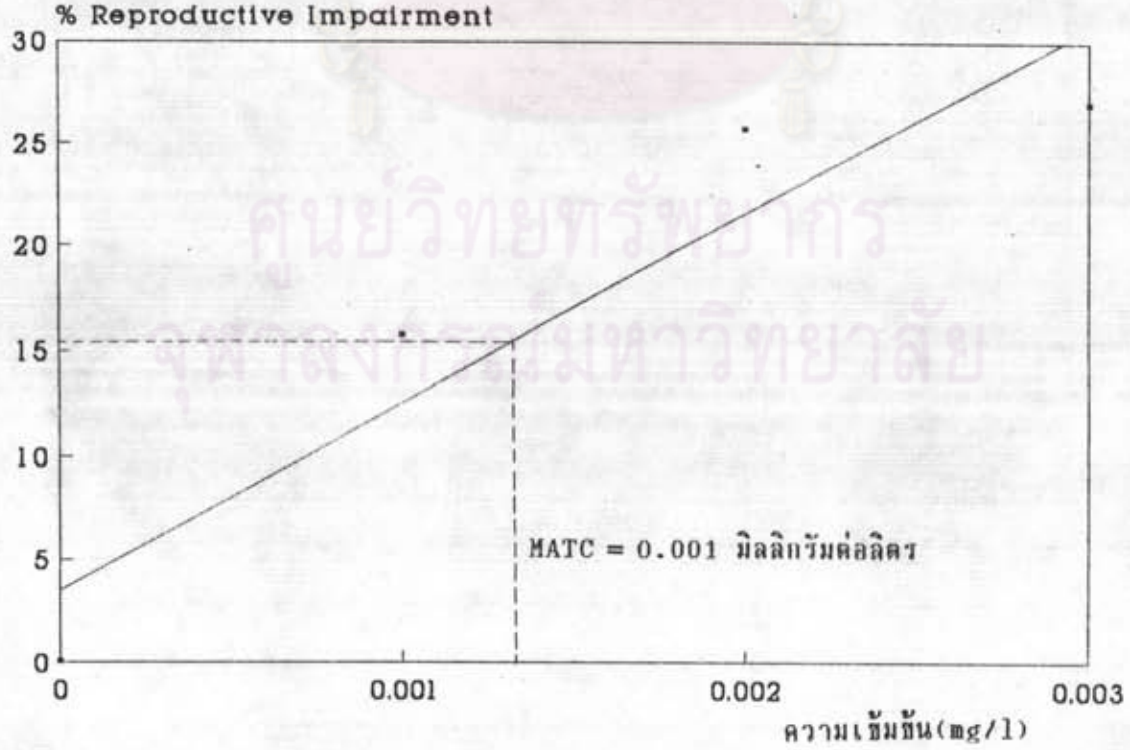
ความเข้มข้นของปรอท (mg/l)	ไรน้ำแดง (ตัว)	จำนวนลูกเฉลี่ยของไรน้ำแดง 1 ตัวในแต่ละรุ่น ($\bar{X} \pm SD$)				
		F_1	F_2	F_3	F_4	F_5
0.003	15	29.3 $^{b}\pm$21.0	42.2±22.6	51.6±25.2	44.9±21.4	73.2±32.4
0.002	15	29.8 $^{b}\pm$29.8	48.7±13.8	44.7±26.5	62.8±28.9	61.8±16.3
0.001	15	33.8 $^{b}\pm$12.6	49.2±14.3	53.9±21.1	55.2±28.2	68.8±11.9
0(กลุ่มควบคุม)	15	40.1 $^{a}\pm$24.9	56.4±11.2	46.3±24.8	56.9±28.1	72.3±21.1

หมายเหตุ ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.16 ผลของสารละลายเมอร์คิวริคคลอไรด์ต่อจำนวนลูกของไรน้ำแดง รุ่น F_1 และเปอร์เซนต์ของจำนวนลูกไรน้ำแดงที่ลดลงเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม

ความเข้มข้น (mg/l)	ไรน้ำแดง (ตัว)	จำนวนลูกเฉลี่ยของไรน้ำแดง 1 ตัว (ตัว)	% Reproductive Impairment (%)
0.003	15	29.30	26.93
0.002	15	29.80	25.68
0.001	15	33.80	15.72
0 (กลุ่มควบคุม)	15	40.10	0

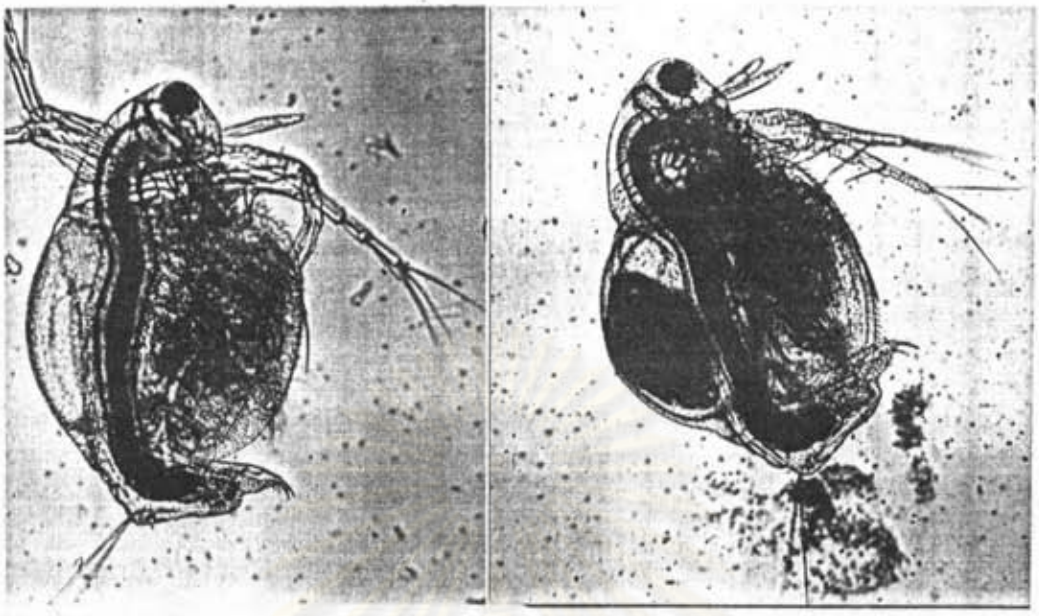


รูปที่ 4.14 ระดับความเข้มข้นของสารละลายเมอร์คิวริคคลอไรด์ที่ยอมให้มีในสภาพแวดล้อมที่ไรน้ำแดงดำรงชีวิตอยู่ได้ โดยไม่เป็นอันตราย

ตารางที่ 4.17 ผลของสารละลายเมอร์คิวริคคลอไรด์ต่ออายุเฉลี่ยของไรน้ำแดง

ความเข้มข้นของปรอท (mg/l)	ไรน้ำแดง (ตัว)	อายุเฉลี่ยของไรน้ำแดงในแต่ละรุ่น (วัน) ($\bar{X} \pm SD$)				
		F_1	F_2	F_3	F_4	F_5
0.003	15	4.9±1.9	5.9±1.7	6.7±2.7	5.2±1.7	7.5±1.9
0.002	15	4.9±1.0	6.5±1.3	5.2±2.0	6.5±1.7	7.1±1.1
0.001	15	5.7±1.3	6.7±1.4	6.5±1.8	6.1±2.1	7.7±1.0
0 (กลุ่มควบคุม)	15	5.5±1.8	6.3±0.9	5.8±2.3	5.8±2.1	7.2±1.9

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



กลุ่มทดลอง $\times \frac{1}{100}$ กลุ่มควบคุม

รูปที่ 4.15 แสดงลักษณะของไรน้ำแดงในสารละลายเลดไนเตรทเทียบกับในกลุ่มควบคุม

2.2.2 การสืบพันธุ์ของไรน้ำแดง ไรน้ำแดงในรุ่น F_1 ถึง F_5 ในสารละลายเลดไนเตรทความเข้มข้นต่าง ๆ และกลุ่มควบคุม พบว่ามีการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ 100 เปอร์เซนต์ ในทุกชุดการทดลอง ไรน้ำแดงที่ใกล้ออกลูกจะมีลำตัวอ้วนกลม เมื่อให้ลูกแล้วลำตัวจะผอมลง โดยเฉลี่ยไรน้ำแดงให้ลูกวันละครั้งจนกระทั่งตาย จากการทดลองพบว่ามีไรน้ำแดงในสารละลายเลดไนเตรทประมาณ 15 เปอร์เซนต์ของไรน้ำแดงทุกรุ่น (F_1 ถึง F_5) ที่ไม่ให้ลูกทุกวัน ส่วนในชุดควบคุมมีประมาณ 10 เปอร์เซนต์ จำนวนครั้งของการเกิดการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศของไรน้ำแดงในสารละลายเลดไนเตรท ความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมในแต่ละรุ่น พบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างรุ่น พบว่าจำนวนครั้งของการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศมีจำนวนเพิ่มขึ้น ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.17 ส่วนจำนวนลูกไรน้ำแดงตลอดชีวิต พบว่าไรน้ำแดงในรุ่น F_1 กลุ่มควบคุมมีจำนวนลูกเฉลี่ยมากกว่าไรน้ำแดง ที่อยู่ในสารละลายเลดไนเตรทความเข้มข้น 0.16 และ 0.11 มิลลิกรัมต่อลิตรอย่างมีนัยสำคัญ แต่จำนวนลูกไรน้ำแดงในสารละลายเข้มข้น 0.06 มิลลิกรัม ไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ไรน้ำแดงรุ่น F_2 ในสารละลายเข้มข้น 0.11 และ 0.06 มิลลิกรัมต่อลิตร มีจำนวนลูกไม่ต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ แต่ไรน้ำแดงในสารละลายเข้มข้น 0.16 มิลลิกรัมต่อลิตร มีจำนวนลูกน้อย

ตารางที่ 4.18 ผลของสารละลายเลดไนเตรทต่อจำนวนครั้งเฉลี่ยในการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศของไรน้ำแดง 5 รุ่น

ความเข้มข้นของตะกั่ว (mg/l)	ไรน้ำแดง (ตัว)	จำนวนครั้งเฉลี่ยในการเกิด การสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ ตลอดชีวิตของไรน้ำแดง 1 ตัว ในแต่ละรุ่น (ครั้ง)				
		F_1	F_2	F_3	F_4	F_5
0.16	15	1.9±1.1	3.1±1.4	3.7±1.2	4.4±1.3	5.9±1.1
0.11	15	2.2±1.5	3.2±1.3	4.9±1.6	4.1±1.5	6.2±1.7
0.06	15	2.6±1.8	3.7±1.3	4.5±1.5	4.1±1.9	6.9±1.7
0 (กลุ่มควบคุม)	15	3.3±1.5	4.7±1.5	3.4±1.5	5.1±1.8	5.7±1.3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กว่าไรน้ำแดงในชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ไรน้ำแดงในรุ่น F_3 พบว่าจำนวนลูกในกลุ่มควบคุมและในสารละลายเข้มข้น 0.16 มิลลิกรัมต่อลิตร ไม่แตกต่างกัน แต่จำนวนลูกในสารละลายเข้มข้น 0.11 และ 0.06 มิลลิกรัมต่อลิตร มากกว่าจำนวนลูกไรน้ำแดงในกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ไรน้ำแดงในรุ่น F_4 ในกลุ่มควบคุมและในสารละลายเลดไนเตรท มีจำนวนลูกไรน้ำแดง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ไรน้ำแดงในรุ่น F_5 ที่อยู่ในสารละลายเลดไนเตรททั้ง 3 ระดับความเข้มข้นมีจำนวนลูกไรน้ำแดงมากกว่า ในกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 สรุปได้ว่าความเข้มข้นทั้ง 3 ระดับของตะกั่วไอออนที่เตรียมในการทดลองนี้ ไรน้ำแดงสามารถปรับตัวให้มีจำนวนลูกเพิ่มขึ้น จนกระทั่งมีจำนวนลูกที่เกิดขึ้นสูงกว่าในชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.19 จากจำนวนลูกไรน้ำแดงในรุ่น F_3 เมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของสารละลายตะกั่ว ที่ทำให้จำนวนลูกไรน้ำแดงลดลงน้อยกว่า 16 เปอร์เซนต์เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม (16 % reproductive impairment) ซึ่งเป็นระดับความเข้มข้นสูงสุดของตะกั่วที่ยอมให้มีในสภาพแวดล้อมที่ไรน้ำแดงอาศัยอยู่ได้ โดยไม่เป็นอันตราย (maximum acceptable toxicant concentration, MATC) ตามวิธีการของ Biesinger and Christensen (1972) พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.04 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังตารางที่ 4.20 และรูปที่ 4.16

2.2.3 อายุของไรน้ำแดง อายุของไรน้ำแดงในสารละลายเลดไนเตรทความเข้มข้นต่าง ๆ ในรุ่น F_1 ถึง F_5 เมื่อทดสอบความแตกต่างทางสถิติกับกลุ่มควบคุมภายในรุ่นเดียวกัน พบว่าไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เมื่อเปรียบเทียบอายุของไรน้ำแดงในแต่ละรุ่นพบว่า ไรน้ำแดงมีอายุเฉลี่ยสูงขึ้นในรุ่นต่อ ๆ มาผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.21

ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับ จำนวนครั้งของการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ อายุ และ จำนวนลูกทั้งหมดของไรน้ำแดงแสดงในภาคผนวก จ

<u>ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ</u>

การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ใช้วิธีการมาตราฐานในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำของ APHA (1985) โดยวิเคราะห์ก่อนและหลังทำการทดลองทุกครั้งเพื่อระบุคุณภาพน้ำที่ใช้ในการทดลอง

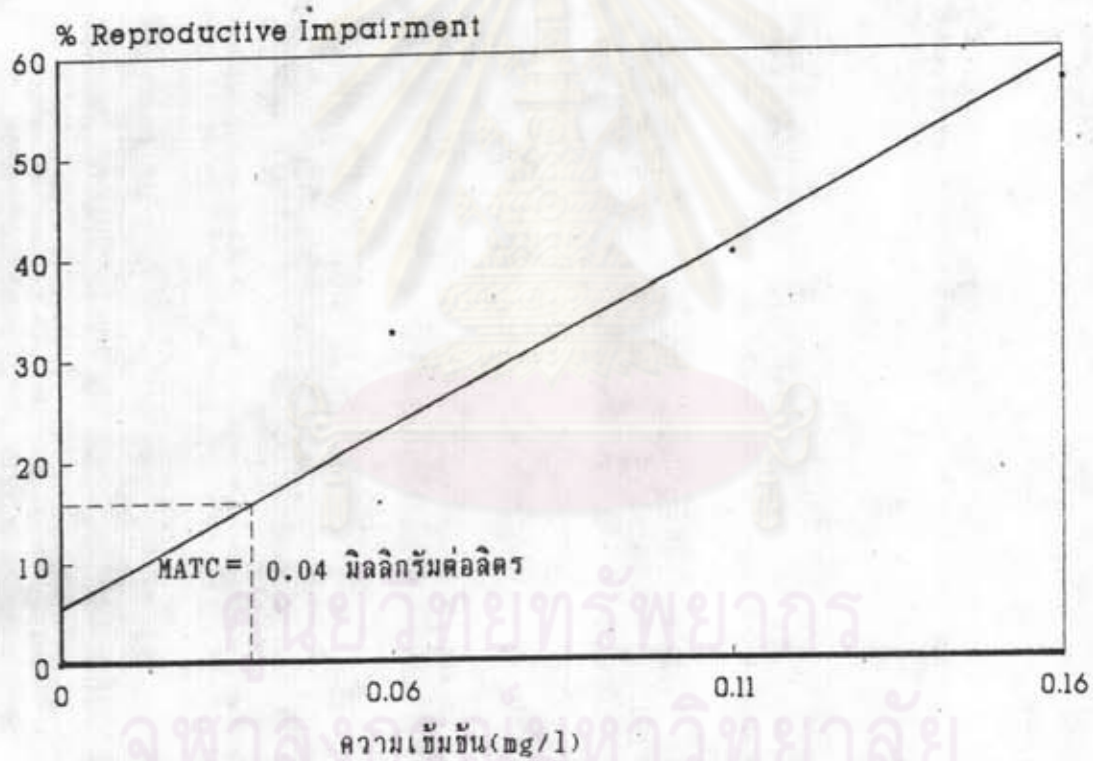
ตารางที่ 4.19 ผลของสารละลายเลดไนเตรทต่อจำนวนลูกเฉลี่ยของไรน้ำแดง 5 รุ่น

ความเข้มข้นของตะกั่ว (mg/l)	ไรน้ำแดง (ตัว)	จำนวนลูกเฉลี่ยตลอดชีวิตของไรน้ำแดงในแต่ละรุ่น (ตัว) ($\bar{X} \pm SD$)				
		F_1	F_2	F_3	F_4	F_5
0.16	15	$17.1^{b} \pm 9.1$	$39.8^{c} \pm 20.0$	$52.9^{a} \pm 14.5$	$50.8^{a} 14.9$	$82.7^{b} \pm 7.5$
0.11	15	$23.8^{b} \pm 17.1$	$45.9^{ab} \pm 22.8$	$66.8^{b} \pm 11.4$	$51.1^{a} \pm 14.3$	$85.1^{b} \pm 21.2$
0.06	15	$26.8^{ab} \pm 22.2$	$46.1^{ab} \pm 21.3$	$72.9^{b} \pm 10.2$	$48.1^{a} \pm 16.2$	$86.9^{b} \pm 19.9$
0 (กลุ่มควบคุม)	15	$39.7^{a} \pm 18.2$	$60.8^{a} \pm 23.0$	$54.4^{a} \pm 24.8$	$56.9^{a} \pm 19.8$	$65.7^{a} \pm 19.5$

หมายเหตุ ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ตัวอักษร 2 ตัวในแนวตั้ง เช่น ab หมายความว่า ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างจาก a และไม่แตกต่างจาก b

ตารางที่ 4.20 ผลของสารละลายเลดไนเตรทต่อการสืบพันธุ์ ของไรน้ำแดง และเปอร์เซนต์จำนวนลูกไรน้ำแดงที่ลดลงเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม

ความเข้มข้นของตะกั่ว (mg/l)	ไรน้ำแดง (ตัว)	จำนวนลูกเฉลี่ยตลอดชีวิตของไรน้ำแดง 1 ตัว (ตัว)	% Reproductive Impairment (%)
0.16	15	17.13	56.82
0.11	15	23.80	40.01
0.06	15	26.80	32.44
0 (กลุ่มควบคุม)	15	39.67	0



รูปที่ 4.16 ระดับความเข้มข้นของเลดไนเตรทที่ยอมให้มีได้ในแหล่งน้ำ โดยไม่เป็นอันตรายแก่ไรน้ำแดง

ตารางที่ 4.21 ผลของสารละลายเลดไนเตรทต่อ อายุเฉลี่ยของไรน้ำแดง 5 รุ่น

ความเข้มข้นของตะกั่ว (mg/l)	ไรน้ำแดง (ตัว)	อายุเฉลี่ย (วัน) ของไรน้ำแดงในแต่ละรุ่น F_1 ถึง F_5				
		F_1	F_2	F_3	F_4	F_5
0.16	15	4.2±1.7	5.7±1.3	5.8±1.3	6.5±1.5	8.0±1.3
0.11	15	5.3±1.8	5.7±1.1	6.7±1.7	6.3±1.5	8.7±1.8
0.06	15	5.6±1.9	5.9±1.4	7.2±1.8	6.2±1.9	9.2±1.7
0 (กลุ่มควบคุม)	15	5.7±1.6	7.2±1.5	5.5±1.6	7.2±1.9	8.2±1.6

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการวิเคราะห์ แสดงในตารางที่ 4.22

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำก่อนและหลังทำการทดลองพบว่า คุณภาพน้ำเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อย ซึ่งอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้จึงไม่มีผลกระทบต่อสัตว์ทดลองมากนัก เพราะในระหว่างทำการทดลอง ได้เปลี่ยนสารละลายที่ใช้ทำการทดลองใหม่ เพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำเนื่องจากสัตว์ทดลองมีการขับถ่ายของเสีย และอาจเกิดจากการเน่าเสียของอาหารที่ใช้เลี้ยงสัตว์ทดลอง

ตารางที่ 4.22 แสดงคุณภาพน้ำที่ใช้ในการทดลองโดยวิเคราะห์ก่อนและหลังทำการทดลอง

พารามิเตอร์	ปลาตะเพียนขาว	ไรน้ำแดง
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	6.9 - 7.2	6.8 - 7.1
ปริมาณออกซิเจนละลาย (mg/l)	4.6 - 6.6	4.5 - 6.8
อุณหภูมิ ($^{\circ}$c)	27.5 - 29.0	28.0 - 30.0
ความกระด้างรวม (mg/l as $CaCO_3$)	91.0 - 102.5	93.0 - 105.0
ปริมาณแอมโมเนีย (NH_3-N, mg/l)	< 0.02	< 0.02

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย