

ผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาพิษเฉียบพลัน

จากผลการทดลอง เพื่อศึกษาระดับความเป็นพิษเฉียบพลัน ของสารละลายแคดเมียมในเตรด คอปเปอร์ซัลเฟต และซิงค์ซัลเฟต ที่ทำให้โรน้าแดงตายร้อยละ 50 โดยการนำจำนวนการตายสะสมของโรน้าแดงในระยะเวลาต่างๆ มาคำนวณหาค่า LC_{50} โดยใช้โปรแกรม SPSS-X release 3.0 ซึ่งรายละเอียดแสดงไว้ในภาคผนวก ง

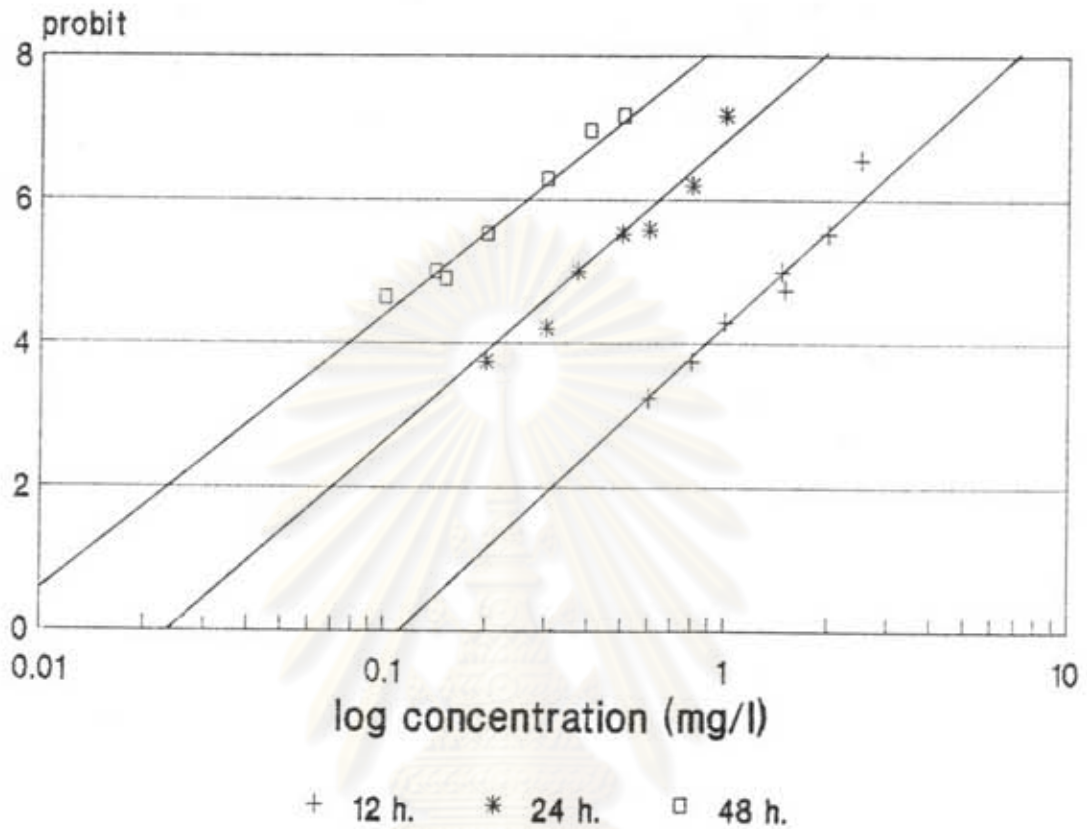
1.1 พิษเฉียบพลันของแคดเมียมในเตรด

พบว่า ระดับความเข้มข้นของแคดเมียมที่ทำให้โรน้าแดงตายร้อยละ 50 ในช่วงเวลา 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (95% confidence limit) มีค่าเท่ากับ 1.47(1.26-1.69), 0.37(0.29-0.45) และ 0.14(0.12-0.16) มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองพิษเฉียบพลันของแคดเมียมไนเตรตที่มีต่อไธนาแดงในช่วงเวลา 48 ชั่วโมง

ความเข้มข้น (mg/l)	จำนวน ไธนาแดง (ตัว)	จำนวนและเปอร์เซ็นต์การตายสะสมของไธนาแดงในระยะเวลาต่างๆ									
		3 ชม.		6 ชม.		12 ชม.		24 ชม.		48 ชม.	
		จำนวน	%	จำนวน	%	จำนวน	%	จำนวน	%	จำนวน	%
3.00	50	0	0	47	94	50	100	50	100	50	100
2.50	50	0	0	16	32	47	94	50	100	50	100
2.00	50	0	0	2	4	35	70	50	100	50	100
1.50	50	0	0	0	0	20	40	50	100	50	100
1.00	50	0	0	0	0	12	24	50	100	50	100
0.80	50	0	0	0	0	3	6	42	84	50	100
0.60	50	0	0	0	0	2	4	36	72	50	100
0.50	50	0	0	0	0	0	0	35	70	50	100
0.40	50	0	0	0	0	0	0	9	18	49	98
0.30	50	0	0	0	0	0	0	8	16	45	90
0.20	50	0	0	0	0	0	0	2	4	35	70
0.15	50	0	0	0	0	0	0	0	0	21	42
0.10	50	0	0	0	0	0	0	0	0	18	36
0 (กลุ่มควบคุม)	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LC ₅₀ (mg/l) คำนวณโดยใช้ โปรแกรม SpSS-X ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์		-		-		1.47		0.37		0.14	
		-		-		1.26-1.69		0.29-0.45		0.12-0.16	



รูปที่ 4.1 ระดับความเข้มข้นของแคดเมียมไนเตรด ที่ทำให้ไทราน้ำแดงตาย 50 เปอร์เซ็นต์

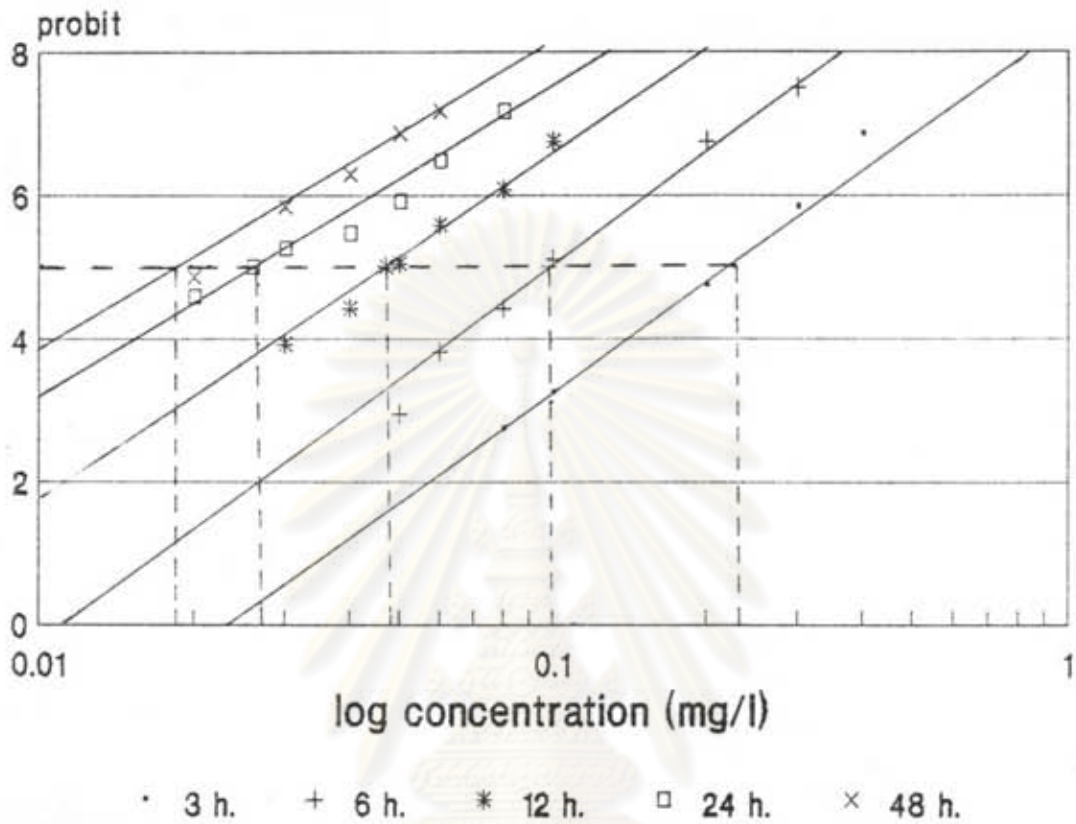
ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.2 พหุคูณของคอปเปอร์ซัลเฟต

พบว่า ระดับความเข้มข้นของทองแดงที่ทำให้ไทราน้ำแดงร้อยละ 50 ในช่วงเวลา 3, 6, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% มีค่าเท่ากับ 0.226(0.158-0.288), 0.098(0.090-0.107), 0.047(0.044-0.051), 0.026(0.018-0.032) และ 0.019(0.016-0.021) มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองพิษเฉียบพลันของคอปเปอร์ซัลเฟตที่มีต่อไวน์แดงในช่วงเวลา 48 ชั่วโมง

ความเข้มข้น (mg/l)	จำนวน ไวน์แดง (ตัว)	จำนวนและเปอร์เซ็นต์การตายสะสมของไวน์แดงในระยะเวลาต่างๆ									
		3 ชม.		6 ชม.		12 ชม.		24 ชม.		48 ชม.	
		จำนวน	%	จำนวน	%	จำนวน	%	จำนวน	%	จำนวน	%
0.50	50	50	100	50	100	50	100	50	100	50	100
0.40	50	49	98	50	100	50	100	50	100	50	100
0.30	50	40	80	50	100	50	100	50	100	50	100
0.20	50	8	16	48	96	50	100	50	100	50	100
0.10	50	3	6	27	54	48	96	50	100	50	100
0.08	50	1	2	14	28	43	86	50	100	50	100
0.06	50	0	0	6	12	36	72	49	98	50	100
0.05	50	0	0	1	2	26	52	36	72	49	98
0.04	50	0	0	0	0	14	28	34	68	43	86
0.03	50	0	0	0	0	7	14	30	60	42	84
0.02	50	0	0	0	0	4	8	21	42	22	44
0.01	50	0	0	0	0	0	0	3	6	8	16
0 (กลุ่มควบคุม)	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LC ₅₀ (mg/l) คำนวณโดยใช้โปรแกรม SpSS-X		0.225		0.098		0.047		0.026		0.019	
ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์		0.158-0.288		0.090-0.107		0.044-0.051		0.018-0.032		0.016-0.021	



รูปที่ 4.2 ระดับความเข้มข้นของคอปเปอร์ซัลเฟตที่ทำให้โรน้าแดงตาย 50 เปอร์เซ็นต์

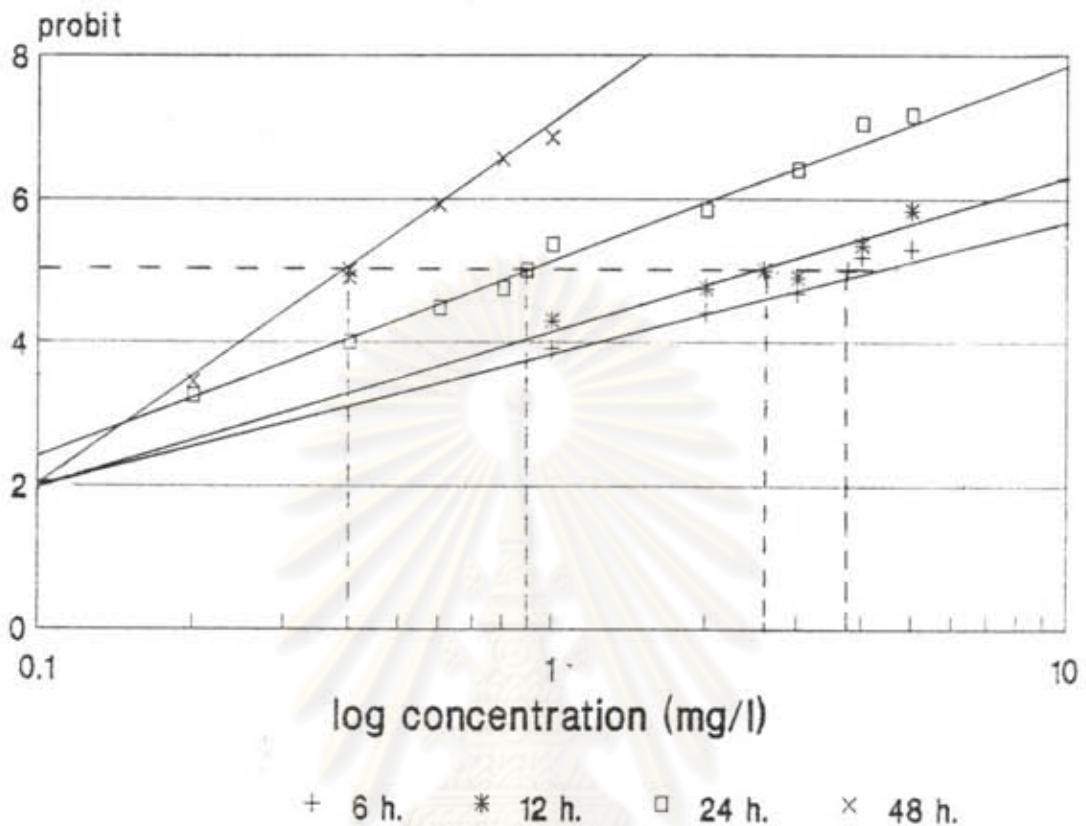
ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.3 พิษเฉียบพลันของซิงค์ซัลเฟต

พบว่า ระดับความเข้มข้นของสังกะสีที่ทำให้โรน้าแดงตายร้อยละ 50 ในช่วงเวลา 6, 12, 24 และ 48 ชั่วโมงที่ระดับความเชื่อมั่น 95% มีค่าเท่ากับ 3.77(3.07-5.16), 2.59(2.12-3.14), 0.89(0.78-1.01) และ 0.40(0.36-0.44) มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.3

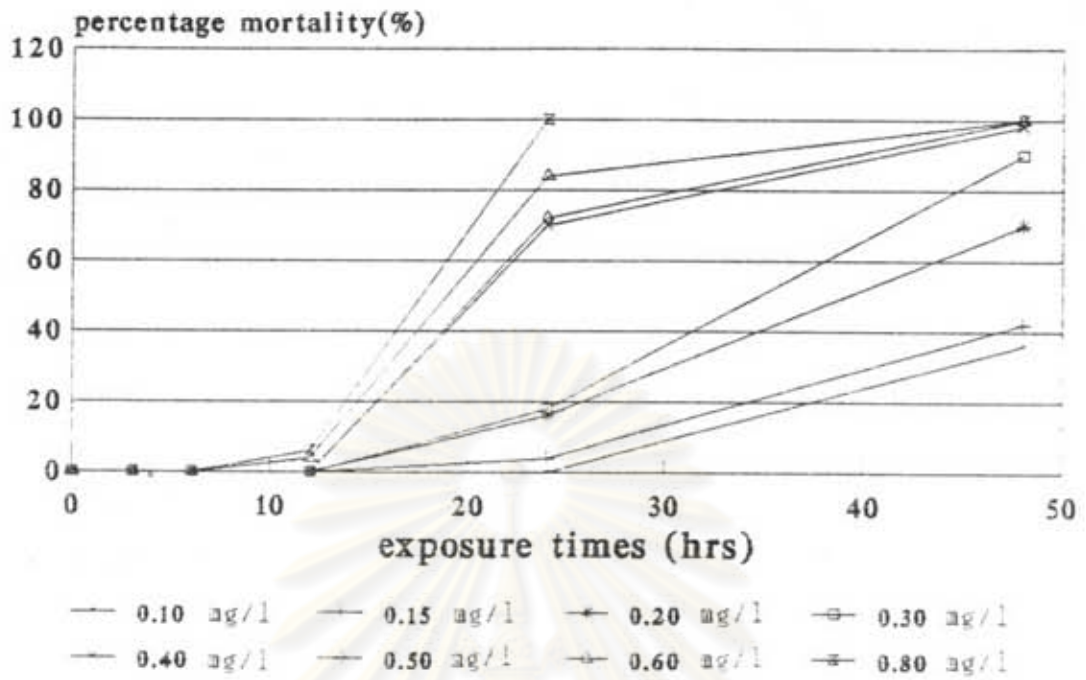
ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองพิษเฉียบพลันของซิงค์ซัลเฟตที่มีต่อไวน์แดงในช่วงเวลา 48 ชั่วโมง

ความเข้มข้น (mg/l)	จำนวน ไวน์แดง (ตัว)	จำนวนและเปอร์เซ็นต์การตายสะสมของไวน์แดงในระยะเวลาต่างๆ									
		3 ชม.		6 ชม.		12 ชม.		24 ชม.		48 ชม.	
		จำนวน	%	จำนวน	%	จำนวน	%	จำนวน	%	จำนวน	%
5.0	50	26	52	31	62	40	80	50	100	50	100
4.0	50	17	34	29	58	32	64	49	98	50	100
3.0	50	13	26	16	32	22	44	46	92	50	100
2.0	50	9	18	14	28	20	40	40	80	50	100
1.0	50	7	14	9	18	12	24	32	64	47	94
0.8	50	0	0	0	0	0	0	20	40	47	94
0.6	50	0	0	0	0	0	0	15	30	41	82
0.4	50	0	0	0	0	0	0	8	16	23	46
0.2	50	0	0	0	0	0	0	2	4	3	6
0.1	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0 (กลุ่มควบคุม)	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LC ₅₀ (mg/l) คำนวณโดยใช้ โปรแกรม SpSS-X		-		3.77		2.59		0.89		0.40	
ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์		-		3.07-5.16		2.12-3.14		0.78-1.01		0.36-0.44	

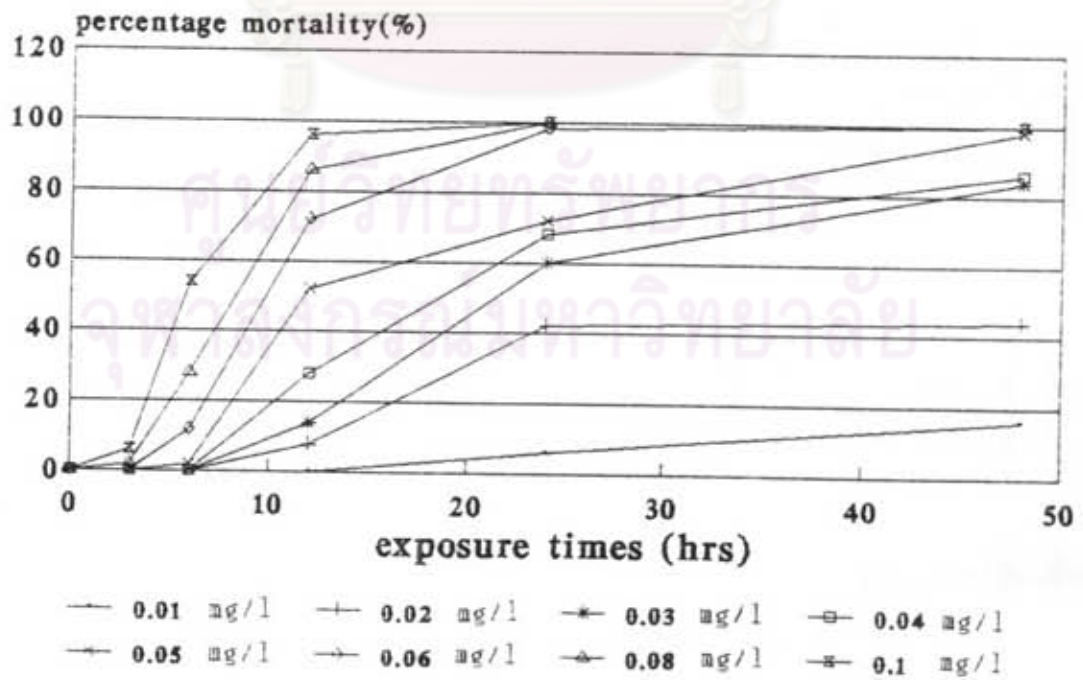


รูปที่ 4.3 ระดับความเข้มข้นของซิงค์ซัลเฟตที่ทำให้โรน้าแดงตาย 50 เปอร์เซ็นต์

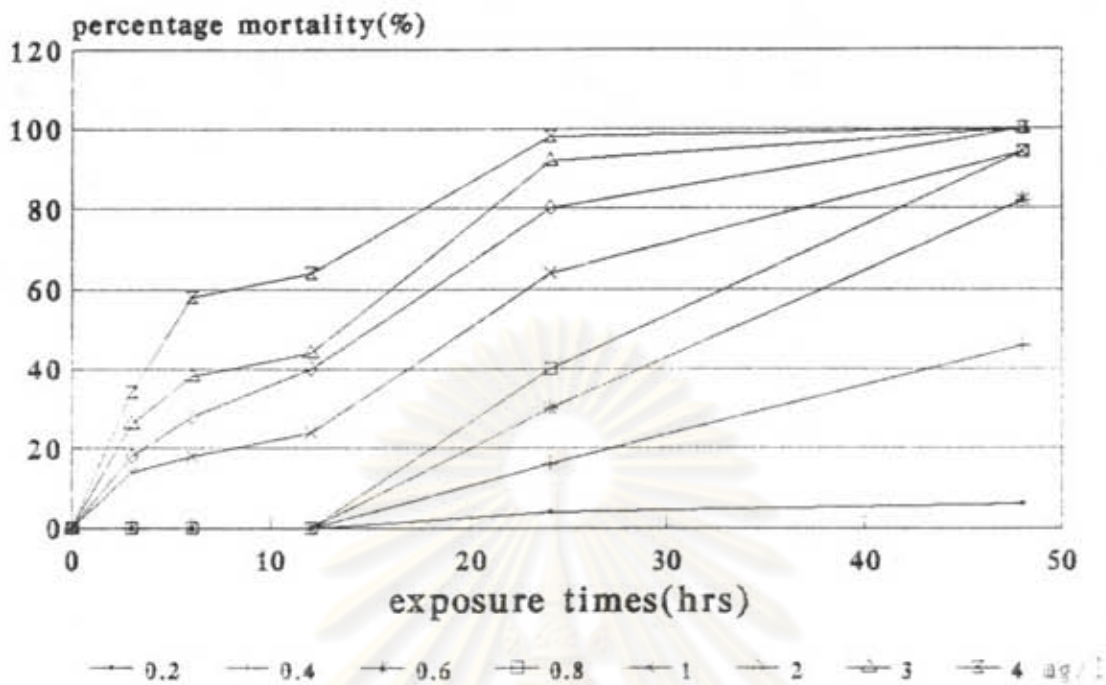
ผลจากการทดลอง ความเป็นพิษเฉียบพลันของโลหะหนักทั้ง 3 ชนิดที่มีต่อโรน้าแดง พบว่า โรน้าแดงในชุดควบคุมไม่มีการตายเกิดขึ้นเลย ส่วนในชุดทดลองพบว่า เปอร์เซ็นต์การตายของโรน้าแดงจะสูงขึ้น ตามความเข้มข้นของสารละลายโลหะหนัก และระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ดังจะเห็นได้จากกราฟแสดงการตายของโรน้าแดง (mortality curve) (รูปที่ 4.4-4.6) ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การตายของโรน้าแดงที่ระยะเวลาต่างๆ กับระดับความเข้มข้นของสารละลายโลหะหนักแต่ละชนิด รวมทั้งเส้นโค้งแสดงความเป็นพิษ (toxicity curve) ของสารละลายโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด ที่มีต่อโรน้าแดง (รูปที่ 4.7) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า LC_{50} ของสารละลายโลหะหนักแต่ละชนิดที่ระยะเวลาต่างๆ กับความเข้มข้นของสารละลายโลหะหนัก



รูปที่ 4.4 เปอร์เซ็นต์การตายสะสมของไรน้ำแดงในสารละลายแคดเมียมในเตรด

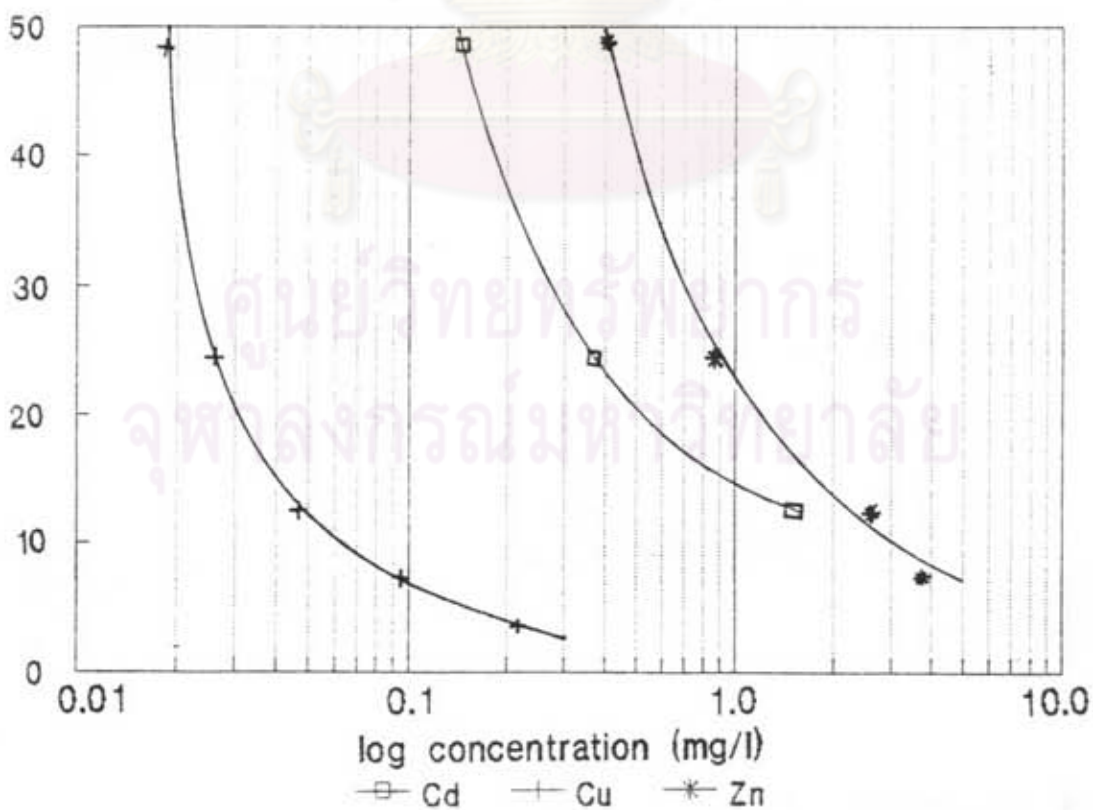


รูปที่ 4.5 เปอร์เซ็นต์การตายสะสมของไรน้ำแดงในสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต



รูปที่ 4.6 เปอร์เซ็นต์การตายสะสมของโรนันแดงในสารละลายซิงค์ซัลเฟต

ระยะเวลาทำการทดลอง (ชั่วโมง)



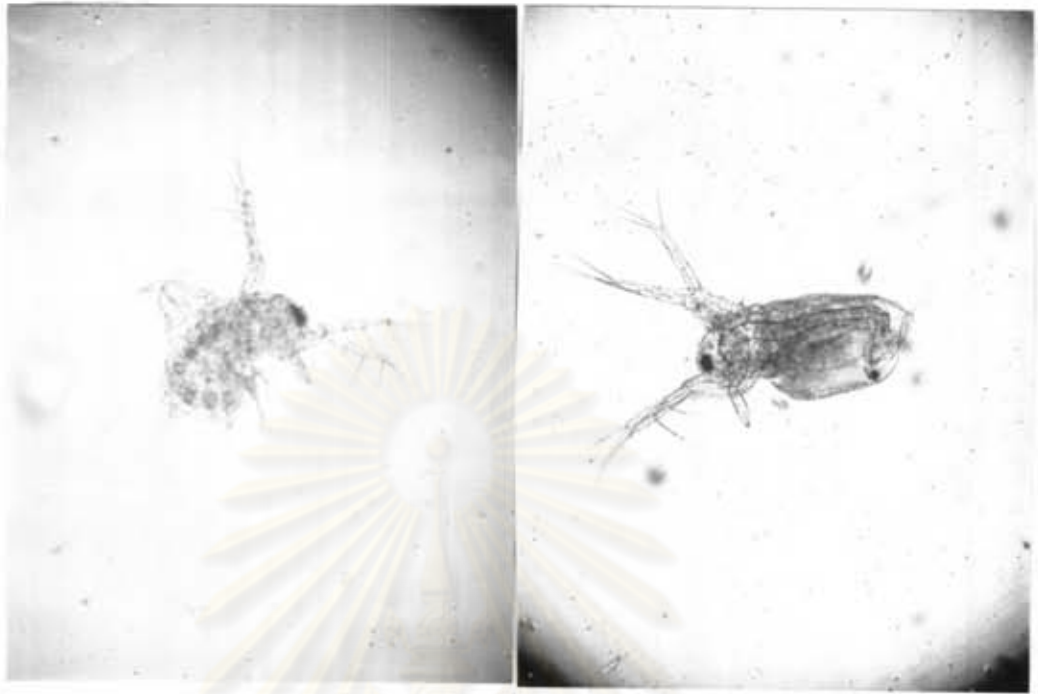
รูปที่ 4.7 เส้นโค้งแสดงความสัมพันธ์ของสารละลายโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด ที่มีต่อโรนันแดง

1.4 ผลกระทบของสารละลายโลหะหนักต่อพฤติกรรมของไรน้ำแดง

ไรน้ำแดงที่ได้รับพิษของสารละลายโลหะหนักทั้ง 3 ชนิดที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม จะมีลักษณะอาการตอบสนองที่คล้ายคลึงกัน คือ ไรน้ำแดงจะตอบสนองต่อสารละลายโลหะหนักที่มีความเข้มข้นสูง มากกว่าสารละลายโลหะหนักที่มีความเข้มข้นต่ำ เมื่อสังเกตด้วยตาเปล่า พบว่า ไรน้ำแดงจะมีอาการกระวนกระวาย และว่ายน้ำหมุนไปรอบๆ ภาชนะ โดยเฉพาะในสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต ในบางครั้งจะว่ายน้ำขึ้นลงระหว่างผิวน้ำกับก้นภาชนะ ซึ่งอาการเหล่านี้จะเกิดขึ้นในช่วงระยะเวลาหนึ่ง หลังจากนั้นจะเคลื่อนไหวช้าลง เสียการทรงตัว และตอบสนองต่อแสงน้อยลง ส่วนใหญ่จะเกาะอยู่ข้างภาชนะและจมลงไปอยู่บริเวณก้นภาชนะ แล้วหยุดการเคลื่อนไหวและตายในช่วงเวลาประมาณ 4-6 ชั่วโมงต่อมา ซึ่งไรน้ำแดงในสารละลายทองแดงและสังกะสีมักจะตายอยู่ที่ก้นภาชนะ แต่ในสารละลายแคดเมียมจะมีประมาณร้อยละ 30 ที่ลอยตายอยู่บริเวณผิวหน้าของสารละลายทดลอง เมื่อตรวจสอบลักษณะของไรน้ำแดงที่ตายด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบว่าไรน้ำแดงในชุดทดลองที่อยู่ในสารละลายโลหะหนักที่มีความเข้มข้นสูง จะมีการลอกตัวของเปลือกหุ้มตัว และมีลักษณะบิดเบี้ยวผิดปกติ โดยเฉพาะในสารละลายแคดเมียมไนเตรต (รูปที่ 4.8-4.10) ลำตัวของไรน้ำแดงมีสีเทาซีด มองเห็นอวัยวะภายในไม่ชัดเจน และในระหว่างการทดลอง พบว่า ไรน้ำแดงจะลอกคราบหลังจากใส่ไรน้ำแดงลงไป ในสารละลายโลหะหนัก ประมาณ 24 ชั่วโมง

1.5 การตกตะกอนของสารละลายโลหะหนัก

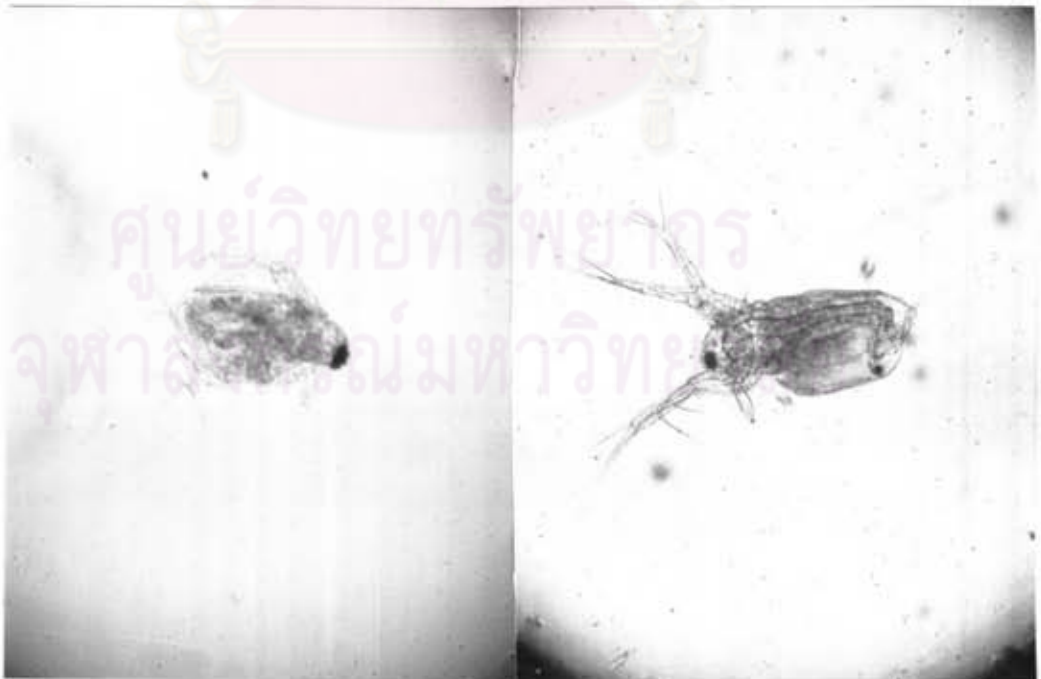
พบว่า สารละลายโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด ที่ใช้ทดลองมีตะกอนเกิดขึ้นเล็กน้อย โดยในสารละลายแคดเมียมไนเตรตพบว่า มีตะกอนเป็นฝ้าบริเวณผิวหน้าของสารละลาย ส่วนในสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตพบว่า มีตะกอนเป็นลักษณะตะกอนเบาขาวลอยอยู่ในสารละลายเล็กน้อย และมีสีฟ้า ส่วนในสารละลายซิงค์ซัลเฟตไม่พบที่เกิดตะกอนมากนัก โดยตะกอนจะมีลักษณะเป็นตะกอนขนาดเล็กสีขาว (ตารางที่ 4.4) แต่ระหว่างทดลองก็ได้มีการเปลี่ยนสารละลายใหม่ทุกๆ 24 ชั่วโมง เพื่อรักษาระดับความเข้มข้นของสารละลายโลหะหนักให้คงที่



กลุ่มทดลอง

กลุ่มควบคุม

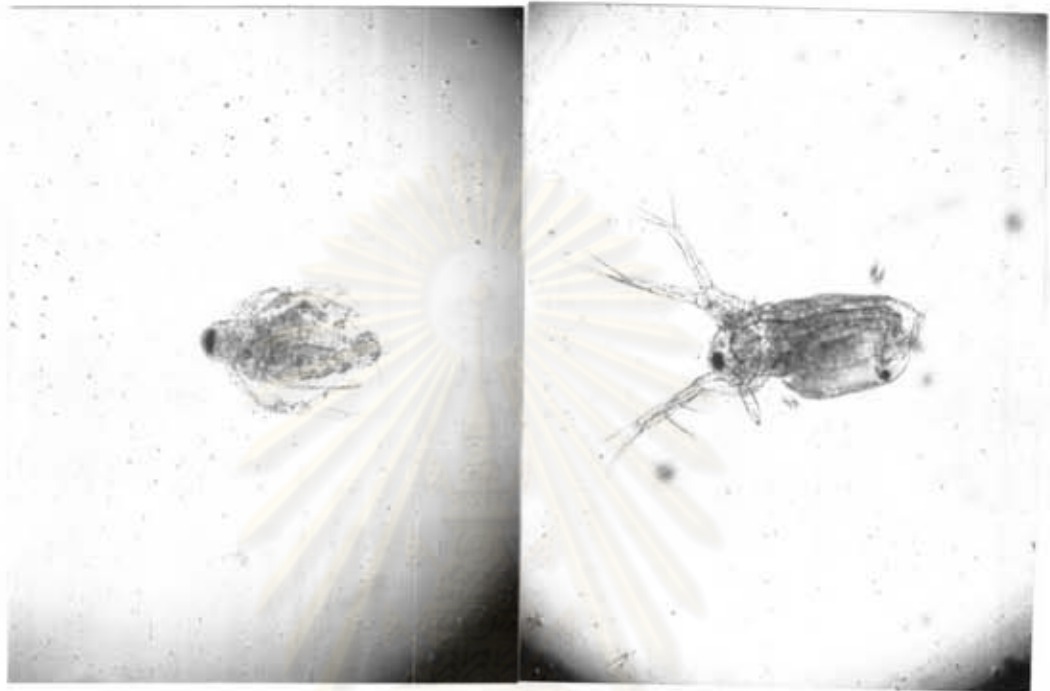
รูปที่ 4.8 ลักษณะของไรน้ำแดงในสารละลายแคดเมียมไนเตรตและกลุ่มควบคุม (40x)



กลุ่มทดลอง

กลุ่มควบคุม

รูปที่ 4.9 ลักษณะของไรน้ำแดงในสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตและกลุ่มควบคุม (40x)



กลุ่มทดลอง

กลุ่มควบคุม

รูปที่ 4.10 ลักษณะของไรน้ำแดงในสารละลายซิงค์ซัลเฟตและกลุ่มควบคุม (40x)

1.6 การเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำที่ใช้ทดลอง

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำที่ใช้ในการทดลองพบว่า คุณภาพน้ำที่ใช้ก่อนทดลองและหลังการทดลองมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย โดยทั่วไปจะมีค่าใกล้เคียงกันเมื่อเทียบกับชุดควบคุม คือ ออกซิเจน, พีเอช, ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (DO), ความกระด้าง และความเป็นด่าง จะมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งเป็นช่วงที่ยอมรับได้ จึงไม่มีผลกระทบต่อสัตว์ทดลอง และระหว่างการทดลองก็มีการเปลี่ยนสารละลายโลหะหนักใหม่ เพื่อควบคุมคุณภาพน้ำไม่ให้เปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากการจับตัวของเชื้อจากสัตว์ทดลอง (ตารางที่ 4.5)

ตารางที่ 4.4 แสดงเปอร์เซ็นต์และลักษณะการตกตะกอน ของสารละลายโลหะหนัก เมื่อเวลาผ่านไป 48 ชั่วโมง

สารละลายโลหะหนัก	ปริมาณและลักษณะ ของตะกอน	เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของสารละลายที่ลดลง เมื่อเวลาผ่านไป 48 ชั่วโมง (เปอร์เซ็นต์)
แกลดเมียมไนเตรต	มีตะกอนเป็นฝ้าที่ผิว ของสารละลาย	10
คอปเปอร์ซัลเฟต	มีตะกอนลักษณะเบา แฉวนลอย ปริมาณ เล็กน้อย	11
ซิงค์ซัลเฟต	มีตะกอนขนาดเล็ก สีขาว	5

ตารางที่ 4.5 คุณภาพน้ำที่ใช้ในระหว่างทำการทดลอง

พารามิเตอร์	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	6.9-7.2	6.9-7.1
ปริมาณออกซิเจนละลาย (mg/l)	5.6-6.8	5.4-6.6
อุณหภูมิ (°C)	27.3-28.4	27.3-28.4
ความกระด้างรวม (mg/l as CaCO ₃)	100-102	95-104
ความเป็นด่าง (alkalinity)	100-102	95-104

2. ผลการศึกษาหิสรองเงือบพลัน

การทดลองหาความเป็นพิษของเงือบพลันของสารละลายแคดเมียมไนเตรด คอปเปอร์ซัลเฟต และซิงค์ซัลเฟต โดยการนับจำนวนลูกของไรน้ำแดง จำนวนครั้งที่มีการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ อายุของไรน้ำแดง และขนาดร่างกายของไรน้ำแดง ในชุดควบคุมและชุดทดลองตลอดช่วงชีวิต แล้วนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณค่า MATC โดยวิธีของ Biesinger และ Christensen (1972) และวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างชุดทดลองและชุดควบคุมด้วยวิธี Duncan Multiple Range Test ซึ่งแสดงไว้ในภาคผนวก จ

2.1 พิษของเงือบพลันของแคดเมียมไนเตรดต่อไรน้ำแดง

2.1.1 การเจริญเติบโตและรูปร่างลักษณะ

ผลการสังเกตไรน้ำแดงในสารละลายแคดเมียมไนเตรด ในกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ด้วยกล้องส่องตาและกล้องจุลทรรศน์ ไม่สามารถสังเกตลักษณะที่แตกต่างกัน ระหว่างไรน้ำแดงในสารละลายความเข้มข้นต่างๆ และชุดควบคุมในแต่ละรุ่นได้ (รูปที่ 4.11) และเมื่อนำมาวัดความยาวของตัวพบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยมีขนาดความยาวเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 1.18-1.23 มิลลิเมตร ดังตารางที่ 4.6 แม้ไรน้ำแดงจะให้ลูกรุ่นแรกเมื่อมีอายุประมาณ 60-72 ชั่วโมงโดยลูกไรน้ำแดงจะมีขนาดประมาณ 0.6-0.9 มิลลิเมตร

2.1.2 การสืบพันธุ์ของไรน้ำแดง

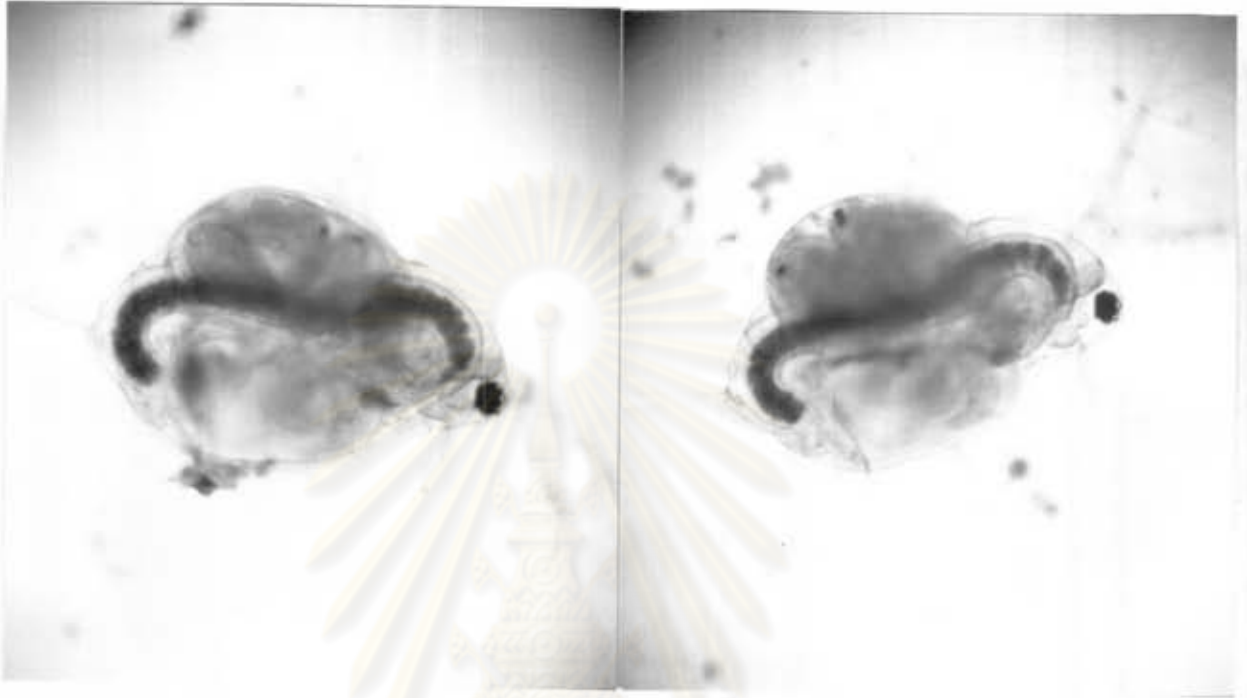
จากการศึกษาพบว่า ลูกไรน้ำแดงในรุ่นที่ 1 (F_1) ถึงรุ่นที่ 5 (F_5) ที่นำมาทดลอง จะมีการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ 100 เปอร์เซ็นต์ ในทุกระดับความเข้มข้นของสารละลายทดลองและกลุ่มควบคุม โดยไรน้ำแดงที่ทำการทดลองส่วนใหญ่ใช้เวลาในการเจริญเติบโตตั้งแต่ฟักตัวจนเริ่มเกิดการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศครั้งแรกเมื่อมีอายุประมาณ 48-60 ชั่วโมง และจะทำ parthenogenesisครั้งแรกเมื่อมีอายุประมาณ 60-72 ชั่วโมง เฉลี่ยวันละ 1 ครั้งจนกระทั่งตาย โดยไรน้ำแดงจะลอกคราบก่อนออกทำ parthenogenesisทุกครั้ง จากการทดลองพบว่า จำนวนลูกเฉลี่ยของไรน้ำแดงในรุ่น F_1 ในกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองที่ระดับความเข้มข้น 0.014,

0.024 และ 0.036 มิลลิกรัมต่อลิตร มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยจะให้ผลเฉลี่ย 58.33, 53.73, 50.60 และ 47.33 ตัว ตามลำดับ ส่วนในรุ่น F_2 , F_3 , F_4 และ F_5 ที่ระดับความเข้มข้นของแคดเมียม 0.024 และ 0.036 มิลลิกรัมต่อลิตร ก็ให้จำนวนลูกเฉลี่ยน้อยกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ทั้งสิ้น เมื่อเปรียบเทียบจำนวนลูกเฉลี่ยในแต่ละรุ่นตามระดับความเข้มข้นต่างๆ พบว่าในกลุ่มควบคุมจะมีจำนวนลูกเฉลี่ยในรุ่น F_2 น้อยกว่ารุ่น F_1 , F_4 และ F_5 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ส่วนในระดับความเข้มข้น 0.014, 0.024 และ 0.034 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า จำนวนลูกเฉลี่ยในรุ่น F_1 , F_2 , F_3 , F_4 และ F_5 ไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ทั้งสิ้น ยกเว้นในรุ่น F_2 ของกลุ่มทดลองที่ระดับความเข้มข้นของแคดเมียม 0.036 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่มีจำนวนลูกเฉลี่ยน้อยกว่ารุ่นอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.6 ผลของสารละลายแคดเมียมในเตรตต่อขนาดเฉลี่ยของไทริน้ำแดง 1 ตัวในแต่ละรุ่น

ความเข้มข้นของแคดเมียม (mg/l)	ไทริน้ำแดง (ตัว)	ขนาดเฉลี่ยของไทริน้ำแดง 1 ตัว ไทริน้ำแดง (มิลลิเมตร) ($\bar{x} \pm SD$)				
		F_1	F_2	F_3	F_4	F_5
0.036	15	1.19 \pm 0.07	1.20 \pm 0.06	1.19 \pm 0.10	1.24 \pm 0.03	1.22 \pm 0.07
0.024	15	1.23 \pm 0.06	1.22 \pm 0.06	1.23 \pm 0.02	1.21 \pm 0.07	1.23 \pm 0.06
0.014	15	1.22 \pm 0.06	1.23 \pm 0.04	1.22 \pm 0.07	1.23 \pm 0.07	1.24 \pm 0.04
0 (ควบคุม)	15	1.18 \pm 0.09	1.18 \pm 0.08	1.20 \pm 0.06	1.22 \pm 0.06	1.23 \pm 0.04

หมายเหตุ ไม่มีความแตกต่างกันของขนาดเฉลี่ยของไทริน้ำแดงที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05



กลุ่มทดลอง

กลุ่มควบคุม

รูปที่ 4.11 ลักษณะของแม่ไทรน้ำแดงในสารละลายแคดเมียมในเตรคและกลุ่มควบคุม (40x)

เมื่อพิจารณาจำนวนครั้งเฉลี่ยของการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศของไทรน้ำแดง ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม พบว่าจำนวนครั้งเฉลี่ยของการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศของไทรน้ำแดง มีแนวโน้มที่จะลดลงตามระดับความเข้มข้นของโลหะหนักที่เพิ่มขึ้นทุกรุ่น เมื่อทดสอบทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 พบว่าจำนวนครั้งเฉลี่ยของการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศของไทรน้ำแดง ในรุ่น F_1 ของระดับความเข้มข้น 0.036 มิลลิกรัมต่อลิตร มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าเท่ากับ 4.33 และ 4.93 ครั้ง ตามลำดับ ซึ่งในรุ่น F_2 , F_3 , F_4 และ F_5 ก็ให้ผลเช่นเดียวกัน (ตารางที่ 4.8)

ตารางที่ 4.7 ผลของสารละลายแคลเซียมไนเตรดต่อจำนวนลูกเฉลี่ยของไทริน้ำแดง 1 ตัว
ในแต่ละรุ่น (ตัว)

ความเข้มข้นของ แคลเซียม (mg/l)	ไทริน้ำแดง (ตัว)	จำนวนลูกเฉลี่ยของไทริน้ำแดง 1 ตัว ในแต่ละรุ่น (ตัว) ($\bar{x} \pm SD$)				
		F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅
0.036	15	^a 47.33 \pm 6.30 ^a	^c 32.46 \pm 2.77 ^b	^b 44.93 \pm 5.06 ^a	^c 46.80 \pm 2.84 ^a	^c 48.33 \pm 5.89 ^a
0.024	15	^{bc} 50.60 \pm 4.22 ^a	^b 46.80 \pm 6.22 ^a	^b 47.27 \pm 5.93 ^a	^b 50.93 \pm 5.44 ^a	^{bc} 51.73 \pm 6.71 ^a
0.014	15	^b 53.73 \pm 6.19 ^a	^{ab} 49.86 \pm 4.89 ^a	^a 53.93 \pm 6.67 ^a	^b 52.53 \pm 3.06 ^a	^b 54.33 \pm 6.13 ^a
0 (กลุ่มควบคุม)	15	^a 58.33 \pm 4.53 ^a	^a 52.27 \pm 6.38 ^b	^a 55.86 \pm 5.35 ^{ab}	^a 59.73 \pm 3.84 ^a	^a 59.86 \pm 7.55 ^a

- หมายเหตุ**
- ตัวอักษรที่มุมซ้ายถ้าเหมือนกันในแนวดิ่ง หมายความว่า ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05
- ตัวอักษรที่มุมซ้ายถ้าแตกต่างกันในแนวดิ่ง หมายความว่า มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05
- ตัวอักษรที่มุมซ้าย 2 ตัว เช่น ab หมายความว่า ค่าเฉลี่ยนั้นไม่มีความแตกต่างจาก a และ b ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05
- ตัวอักษรที่มุมขวาถ้าเหมือนกันในแนวนอน หมายความว่า ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05
- ตัวอักษรที่มุมขวาถ้าแตกต่างกันในแนวนอน หมายความว่า มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05
- ตัวอักษรที่มุมขวา 2 ตัว เช่น ab หมายความว่า ค่าเฉลี่ยนั้นไม่มีความแตกต่างจาก a และ b ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางที่ 4.8 ผลของสารละลายแคลเซียมไนเตรดต่อจำนวนครั้งของการสปีดขึ้นแบบไม่อาศัยเพศของไทร่หน้าแดง 1 ตัว ในแต่ละรุ่น (ครั้ง)

ความเข้มข้นของ แคลเซียม (mg/l)	ไทร่หน้าแดง (ตัว)	จำนวนครั้งเฉลี่ยของการสปีดขึ้นแบบไม่อาศัยเพศของไทร่หน้าแดง 1 ตัว ในแต่ละรุ่น (ครั้ง) ($\bar{x} \pm SD$)				
		F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅
0.036	15	^b 4.33 ± 0.72 ^a	^b 3.46 ± 0.52 ^b	^c 4.26 ± 0.46 ^a	^b 4.53 ± 0.52 ^a	^b 4.40 ± 0.63 ^a
0.024	15	^a 4.80 ± 0.56 ^a	^a 4.80 ± 0.41 ^a	^c 4.27 ± 0.45 ^b	^b 4.40 ± 0.50 ^b	^b 4.73 ± 0.46 ^a
0.014	15	^{ab} 4.66 ± 0.61 ^{ab}	^a 4.87 ± 0.35 ^{ab}	^b 5.20 ± 0.41 ^b	^b 4.67 ± 0.48 ^a	^a 5.13 ± 0.51 ^{ab}
0 (กลุ่มควบคุม)	15	^a 4.93 ± 0.25 ^{ab}	^a 4.73 ± 0.45 ^a	^a 4.87 ± 0.35 ^a	^a 5.13 ± 0.35 ^b	^a 5.20 ± 0.41 ^b

หมายเหตุ ตัวอักษรที่มุมซ้ายถ้าเหมือนกันในแนวดิ่ง หมายความว่า ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

ตัวอักษรที่มุมซ้ายถ้าแตกต่างกันในแนวดิ่ง หมายความว่า มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

ตัวอักษรที่มุมซ้าย 2 ตัว เช่น ab หมายความว่า ค่าเฉลี่ยนั้นไม่มีความแตกต่างจาก a และ b ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตัวอักษรที่มุมขวาถ้าเหมือนกันในแนวนอน หมายความว่า ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

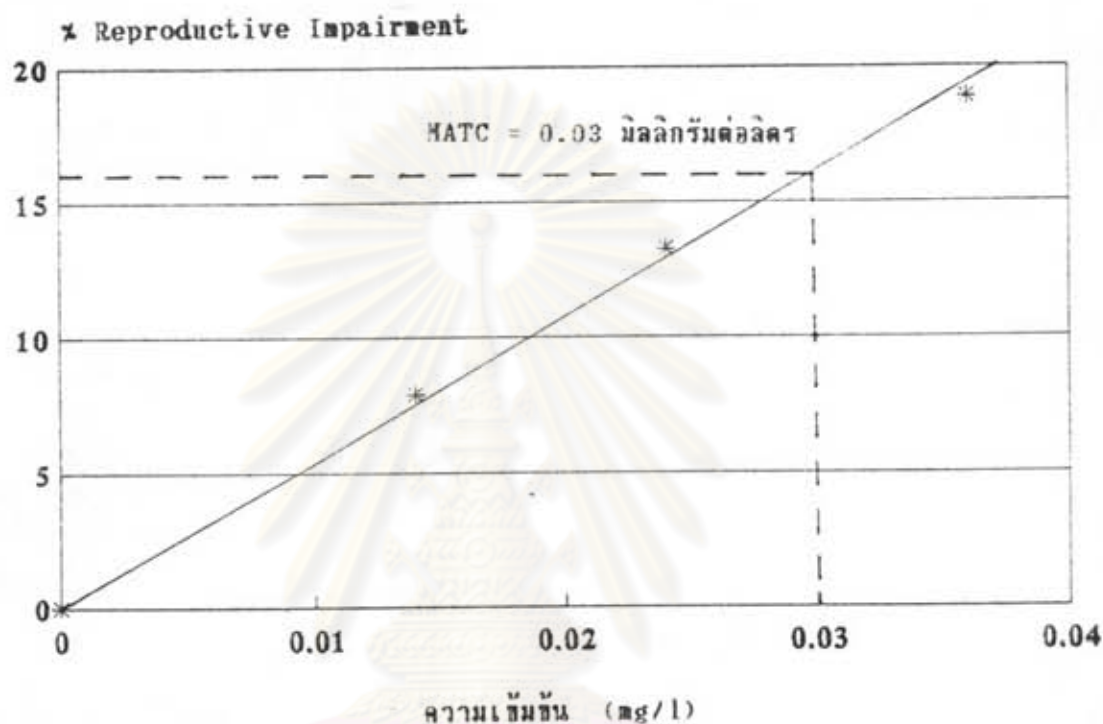
ตัวอักษรที่มุมขวาถ้าแตกต่างกันในแนวนอน หมายความว่า มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

ตัวอักษรที่มุมขวา 2 ตัว เช่น ab หมายความว่า ค่าเฉลี่ยนั้นไม่มีความแตกต่างจาก a และ b ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

เมื่อนำจำนวนลูกเฉลี่ยของไทรน้ำแดงในรุ่น F_1 ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ของสารละลายแคดเมียมไนเตรด มาวิเคราะห์หาค่าระดับความเข้มข้นของสารละลายแคดเมียมไนเตรดที่ทำให้จำนวนลูกไทรน้ำแดงลดลงร้อยละ 16 เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม (16% reproductive impairment) ดังแสดงในตารางที่ 4.9 ซึ่งเป็นระดับความเข้มข้นสูงสุดของแคดเมียมที่ยอมให้มีในสภาพแวดล้อมที่ไทรน้ำแดงอาศัยอยู่ได้โดยไม่เป็นอันตราย ตามวิธีของ Biesinger และ Christensen (1972) พบว่า มีค่าเท่ากับ 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร (รูปที่ 4.12)

ตารางที่ 4.9 ผลของสารละลายแคดเมียมไนเตรดต่อจำนวนลูกเฉลี่ยของไทรน้ำแดงรุ่น F_1 และเปอร์เซ็นต์ของจำนวนลูกไทรน้ำแดงที่ลดลงเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม

ความเข้มข้น (mg/l)	ไทรน้ำแดง (ตัว)	จำนวนลูกเฉลี่ยของ ไทรน้ำแดง 1 ตัว (ตัว)	% Reproductive Impairment (%)
0.036	15	47.33	18.85
0.024	15	50.60	13.25
0.014	15	53.73	7.88
0 (กลุ่มควบคุม)	15	58.33	0.00



รูปที่ 4.12 ระดับความเข้มข้นของคลอรีนในเตรคท์ทอมให้มีได้ในแหล่งน้ำ โดยไม่เป็นอันตราย
ต่อโร้น้ำแดง

2.1.3 อายุของโร้น้ำแดง

อายุของโร้น้ำแดงในสารละลายคลอรีนในเตรคท์ทอมในรุ่น F_1 พบว่าอายุเฉลี่ยของโร้น้ำแดงในกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลองที่ระดับความเข้มข้น 0.014 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเท่ากับ 8.73 และ 8.67 วัน ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แต่ที่ระดับความเข้มข้น 0.036 มิลลิกรัมต่อลิตร โร้น้ำแดงมีอายุเฉลี่ยแตกต่างกับระดับความเข้มข้น 0.014 มิลลิกรัมต่อลิตร และกลุ่มควบคุมในทุกรุ่น ดังแสดงในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ผลของสารละลายแคดเมียมไนเตรดต่ออายุเฉลี่ยของไรร้าแดง 1 ตัว
ในแต่ละรุ่น (วัน)

ความเข้มข้นของ แคดเมียม (mg/l)	ไรร้าแดง (ตัว)	อายุเฉลี่ยของไรร้าแดง 1 ตัว ในแต่ละรุ่น (วัน) ($\bar{x} \pm SD$)				
		F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅
0.036	15	^b 8.13 \pm 0.52 ^a	^b 7.40 \pm 0.50 ^b	^b 8.26 \pm 0.46 ^a	^{ab} 8.53 \pm 0.52 ^a	^b 8.40 \pm 0.63 ^a
0.024	15	^a 8.66 \pm 0.49 ^a	^a 8.53 \pm 0.52 ^{ab}	^b 8.27 \pm 0.45 ^b	^b 8.33 \pm 0.49 ^b	^a 8.73 \pm 0.11 ^a
0.014	15	^a 8.67 \pm 0.48 ^a	^a 8.80 \pm 0.41 ^a	^a 8.80 \pm 0.41 ^a	^{ab} 8.67 \pm 0.48 ^a	^a 8.33 \pm 0.06 ^a
0 (ควบคุม)	15	^a 8.73 \pm 0.45 ^{ab}	^a 8.53 \pm 0.51 ^b	^a 8.86 \pm 0.35 ^a	^a 8.86 \pm 0.35 ^a	^a 9.00 \pm 0.00 ^a

หมายเหตุ ตัวอักษรที่มุมซ้ายถ้าเหมือนกันในแนวดิ่ง หมายความว่า ไม่มีความแตกต่างกันของ
ค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

ตัวอักษรที่มุมซ้ายถ้าแตกต่างกันในแนวดิ่ง หมายความว่า มีความแตกต่างกันของ
ค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

ตัวอักษรที่มุมซ้าย 2 ตัว เช่น ab หมายความว่า ค่าเฉลี่ยนั้นไม่มีความแตกต่างจาก
a และ b ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตัวอักษรที่มุมขวาถ้าเหมือนกันในแนวนอน หมายความว่า ไม่มีความแตกต่างกันของ
ค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

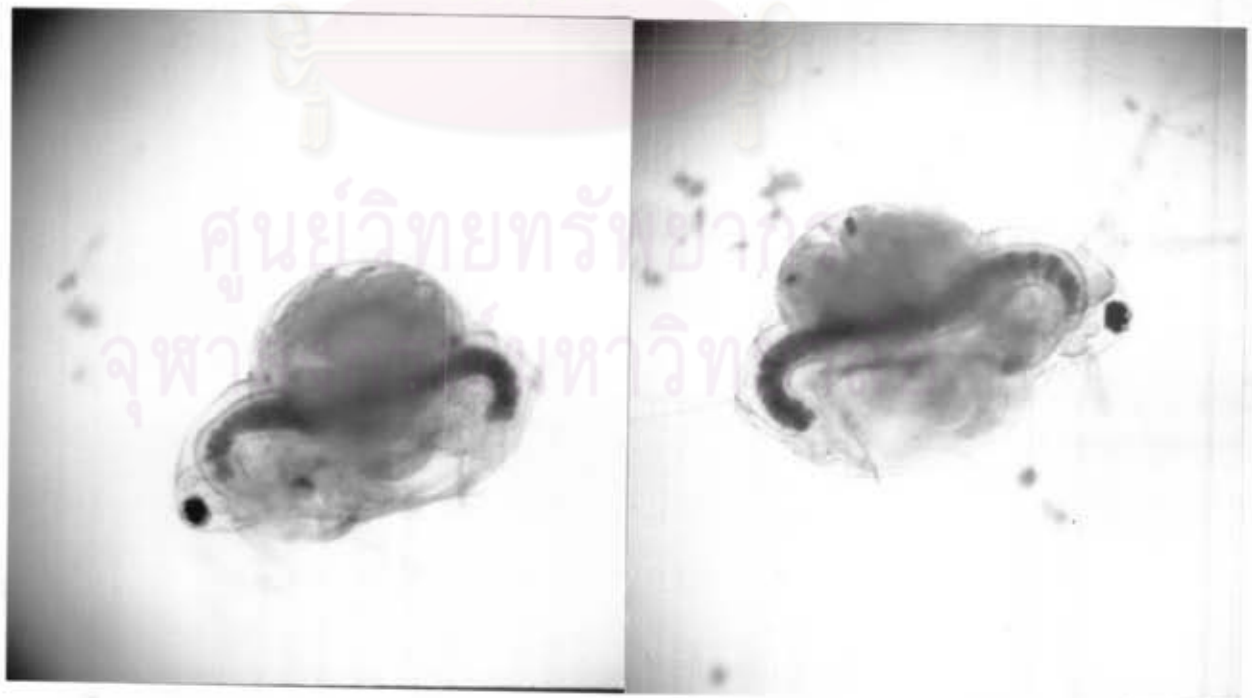
ตัวอักษรที่มุมขวาถ้าแตกต่างกันในแนวนอน หมายความว่า มีความแตกต่างกันของ
ค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

ตัวอักษรที่มุมขวา 2 ตัว เช่น ab หมายความว่า ค่าเฉลี่ยนั้นไม่มีความแตกต่างจาก
a และ b ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

2.2 ทิศทางเจริญพันธ์ของคอปเปอร์ซีลเฟดคัวร์น้ำแดง

2.2.1 การเจริญเติบโตและรูปร่างลักษณะ

ผลการสังเกตโรน้าแดง ในสารละลายคอปเปอร์ซีลเฟด ในกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ด้วยกล้องส่องตาและกล้องจุลทรรศน์ ไม่สามารถสังเกตลักษณะที่แตกต่างกันได้ (รูปที่ 4.13) เมื่อนำมาวัดขนาดความยาว พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยมีขนาดเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 1.18-1.23 มิลลิเมตร ดังในตารางที่ 4.11 แม่โรน้าแดงรุ่นแรกจะทำ parthenogenesis ครั้งแรก (F_1) เมื่อมีอายุประมาณ 60-72 ชั่วโมง โดยลูกโรน้าแดงจะมีขนาด 0.6-0.9 มิลลิเมตร จากการสังเกตพบว่า โรน้าแดงจะมีการเจริญเติบโตตั้งแต่เกิดจนมีอายุประมาณ 120 ชั่วโมง หรือหลังจากเกิด parthenogenesis แล้วประมาณ 2 ครั้ง หลังจากนั้นจะมีการเจริญเติบโตช้ามาก เมื่อวัดขนาดของโรน้าแดงหลังจากทำ parthenogenesis ครั้งที่ 1 ของกลุ่มทดลองเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า มีขนาดเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน ในระหว่างการศึกษา พบว่า โรน้าแดงจะมีพฤติกรรมเกี่ยวกับการลอกคราบและอาการใกล้เคียง เหมือนกับในสารละลายแคลเซียม ดังกล่าวข้างต้น



กลุ่มทดลอง

กลุ่มควบคุม

รูปที่ 4.13 ลักษณะของแม่โรน้าแดงในสารละลายคอปเปอร์ซีลเฟดและกลุ่มควบคุม (40x)

ตารางที่ 4.11 ผลของสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตต่อขนาดเฉลี่ยของไรน้ำแดง 1 ตัว
ในแต่ละรุ่น (มิลลิเมตร)

ความเข้มข้นของ ทองแดง (mg/l)	ไรน้ำแดง (ตัว)	ขนาดเฉลี่ยของไรน้ำแดง 1 ตัว ในแต่ละรุ่น (มิลลิเมตร) ($\bar{x} \pm SD$)				
		F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅
0.005	15	1.21 \pm 0.07	1.20 \pm 0.07	1.22 \pm 0.06	1.18 \pm 0.10	1.23 \pm 0.04
0.003	15	1.23 \pm 0.04	1.22 \pm 0.04	1.23 \pm 0.04	1.21 \pm 0.07	1.23 \pm 0.04
0.002	15	1.18 \pm 0.08	1.19 \pm 0.07	1.22 \pm 0.06	1.23 \pm 0.04	1.22 \pm 0.07
0 (กลูโคสควบคุม)	15	1.18 \pm 0.09	1.18 \pm 0.08	1.20 \pm 0.06	1.22 \pm 0.06	1.23 \pm 0.04

หมายเหตุ ไม่มีความแตกต่างกันของขนาดเฉลี่ยของไรน้ำแดงที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05

2.2.2 การสืบพันธุ์ของไรน้ำแดง

พบว่า ลูกไรน้ำแดงในรุ่นที่ 1 (F₁) ถึงรุ่นที่ 5 (F₅) ที่นำมาทดลอง จะมีการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ 100 เปอร์เซ็นต์ ในทุกระดับความเข้มข้นของสารละลายทดสอบและกลุ่มควบคุม ไรน้ำแดงที่ทำการศึกษาทดลองส่วนใหญ่ ใช้เวลาการเจริญเติบโตตั้งแต่ฟักตัวจนเริ่มเกิดการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศครั้งแรกเมื่อมีอายุประมาณ 48-60 ชั่วโมง และจะทำ parthenogenesisครั้งแรกเมื่อมีอายุประมาณ 60-72 ชั่วโมง เฉลี่ยวันละ 1 ครั้งจนกระทั่งตาย โดยไรน้ำแดงจะลอกคราบก่อนทำ parthenogenesisทุกครั้ง จากการทดลองพบว่าจำนวนลูกเฉลี่ยของไรน้ำแดงในรุ่น F₁ ในกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ซึ่งที่ระดับความเข้มข้นของทองแดงสูงขึ้นก็จะทำให้จำนวนลูกของไรน้ำแดงลดจำนวนลง ในรุ่น F₂ พบว่าจำนวนลูกเฉลี่ย

ของโร้น้ำแดงในกลุ่มทดลองมีความแตกต่างกับกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ โดยกลุ่มทดลองความเข้มข้น 0.002 และ 0.003 มิลลิกรัมต่อลิตร ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่แตกต่างจากกลุ่มทดลองความเข้มข้น 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร อย่างมีนัยสำคัญ ในรุ่น F_5 ก็พบว่ามีจำนวนลูกเฉลี่ยแตกต่างกัน ระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองทุกระดับความเข้มข้น อย่างมีนัยสำคัญ และในระหว่างกลุ่มทดลองก็มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทั้งสิ้น

เมื่อพิจารณาจำนวนลูกเฉลี่ยของกลุ่มควบคุม ในรุ่น F_1 ถึงรุ่น F_5 พบว่า จำนวนลูกในรุ่น F_2 มีความแตกต่างจากรุ่น F_1 , F_4 และ F_5 อย่างมีนัยสำคัญ แต่ไม่แตกต่างกับรุ่น F_3 อย่างมีนัยสำคัญ และในกลุ่มทดลองที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในรุ่น F_1 และ F_2 จะมีจำนวนลูกเฉลี่ยน้อยกว่ารุ่น F_5 อย่างมีนัยสำคัญทุกระดับความเข้มข้น (ตารางที่ 4.12)

เมื่อพิจารณาจำนวนครั้งของการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศจะพบว่า จำนวนครั้งเฉลี่ยของการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศจะลดลง เมื่อระดับความเข้มข้นของทองแดงสูงขึ้น โดยในรุ่น F_1 , F_2 , F_3 , F_4 และ F_5 ของกลุ่มทดลองทุกระดับความเข้มข้นจะมีจำนวนครั้งของการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้นในรุ่น F_2 ที่ระดับความเข้มข้นของทองแดง 0.002 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนจำนวนครั้งเฉลี่ยของการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศของกลุ่มควบคุมในรุ่น F_2 ก็พบว่ามีจำนวนครั้งเฉลี่ยของการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศน้อยกว่ารุ่น F_1 , F_3 , F_4 และ F_5 แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับรุ่น F_1 และ F_3 ส่วนในกลุ่มทดลองทุกระดับความเข้มข้นของทองแดงก็พบว่า จำนวนครั้งเฉลี่ยของการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศในรุ่น F_1 และ F_2 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และจำนวนครั้งเฉลี่ยของการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศของโร้น้ำแดงรุ่น F_5 ในกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลองก็มากกว่ารุ่น F_1 , F_2 และ F_3 อย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้นในระดับความเข้มข้นของทองแดงเท่ากับ 0.003 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ไม่มีความแตกต่างกันของจำนวนครั้งเฉลี่ยของการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศในทุกรุ่น (ตารางที่ 4.13)

เมื่อพิจารณาจำนวนลูกเฉลี่ยของโร้น้ำแดงในรุ่น F_1 แล้วนำมาวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นของสารละลายทองแดง ที่ทำให้จำนวนลูกโร้น้ำแดงลดลงน้อยกว่าร้อยละ 16 เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ซึ่งเป็นระดับความเข้มข้นสูงสุดของทองแดงที่ยอมให้มีในสภาพแวดล้อม ที่โร้น้ำแดงอาศัยอยู่ได้โดยไม่เป็นอันตราย ตามวิธีของ Biesinger และ Christensen (1972) พบว่า มีค่าเท่ากับ 0.002 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังตารางที่ 4.14 และรูปที่ 4.14

ตารางที่ 4.12 ผลของสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตต่อจำนวนลูกเจี๊ยบของไทรน้ำแดง 1 ตัว
ในแต่ละรุ่น (ตัว)

ความเข้มข้นของ ทองแดง (mg/l)	ไทรน้ำแดง (ตัว)	จำนวนลูกเจี๊ยบของไทรน้ำแดง 1 ตัว ในแต่ละรุ่น (ตัว) ($\bar{x} \pm SD$)				
		F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅
0.005	15	^a 37.00 ± 5.75 ^{ab}	^a 34.46 ± 5.20 ^a	^a 39.86 ± 3.87 ^b	^c 41.73 ± 3.19 ^{bc}	^c 47.33 ± 4.20 ^d
0.003	15	^c 41.93 ± 5.23 ^{ab}	^b 40.80 ± 5.58 ^a	^c 45.87 ± 5.95 ^b	^c 42.33 ± 5.15 ^{ab}	^c 49.73 ± 4.94 ^{bc}
0.002	15	^b 49.13 ± 6.02 ^a	^b 44.13 ± 5.88 ^b	^b 50.13 ± 3.92 ^a	^b 51.87 ± 4.03 ^{ac}	^b 54.60 ± 2.50 ^c
0 (กลุ่มควบคุม)	15	^a 58.33 ± 4.53 ^a	^a 52.27 ± 6.38 ^b	^a 55.86 ± 5.35 ^{ab}	^a 59.73 ± 3.84 ^a	^a 59.86 ± 7.55 ^a

หมายเหตุ ตัวอักษรที่มุมซ้ายถ้าเหมือนกันในแนวดิ่ง หมายความว่า ไม่มีความแตกต่างกันของ
ค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

ตัวอักษรที่มุมซ้ายถ้าแตกต่างกันในแนวดิ่ง หมายความว่า มีความแตกต่างกันของ
ค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

ตัวอักษรที่มุมขวาถ้าเหมือนกันในแนวนอน หมายความว่า ไม่มีความแตกต่างกันของ
ค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

ตัวอักษรที่มุมขวาถ้าแตกต่างกันในแนวนอน หมายความว่า มีความแตกต่างกันของ
ค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

ตัวอักษรที่มุมขวา 2 ตัว เช่น ab หมายความว่า ค่าเฉลี่ยนั้นไม่มีความแตกต่างจาก
a และ b ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางที่ 4.13 ผลของสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตต่อจำนวนครั้งเฉลี่ยของการสืบพันธุ์แบบ
ไม่อาศัยเพศของไรน้ำแดง 1 ตัว ในแต่ละรุ่น (ครั้ง)

ความเข้มข้นของ ทองแดง ($\mu\text{g/l}$)	ไรน้ำแดง (ตัว)	จำนวนครั้งเฉลี่ยของการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศของไรน้ำแดง 1 ตัว ในแต่ละรุ่น (ครั้ง) ($\bar{x} \pm \text{SD}$)				
		F_1	F_2	F_3	F_4	F_5
0.005	15	^a 3.20 \pm 0.56 ^a	^c 3.26 \pm 0.46 ^a	^c 3.73 \pm 0.59 ^b	^a 4.86 \pm 0.35 ^c	^c 4.60 \pm 0.50 ^c
0.003	15	^c 4.20 \pm 0.41 ^a	^b 4.26 \pm 0.70 ^a	^{ab} 4.53 \pm 0.51 ^a	^b 4.60 \pm 0.82 ^a	^c 4.67 \pm 0.48 ^a
0.002	15	^b 4.53 \pm 0.51 ^a	^{ab} 4.40 \pm 0.50 ^a	^b 4.46 \pm 0.51 ^a	^b 4.66 \pm 0.48 ^a	^b 5.00 \pm 0.00 ^b
0 (ยวดยานพิษ)	15	^a 4.93 \pm 0.25 ^{ab}	^a 4.73 \pm 0.45 ^a	^a 4.87 \pm 0.35 ^{ab}	^a 5.13 \pm 0.35 ^b	^a 5.20 \pm 0.41 ^b

หมายเหตุ ตัวอักษรที่มุมซ้ายถ้าเหมือนกันในแนวดิ่ง หมายความว่า ไม่มีความแตกต่างกันของ
ค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

ตัวอักษรที่มุมซ้ายถ้าแตกต่างกันในแนวดิ่ง หมายความว่า มีความแตกต่างกันของ
ค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

ตัวอักษรที่มุมซ้าย 2 ตัว เช่น ab หมายความว่า ค่าเฉลี่ยนั้นไม่มีความแตกต่างจาก
a และ b ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

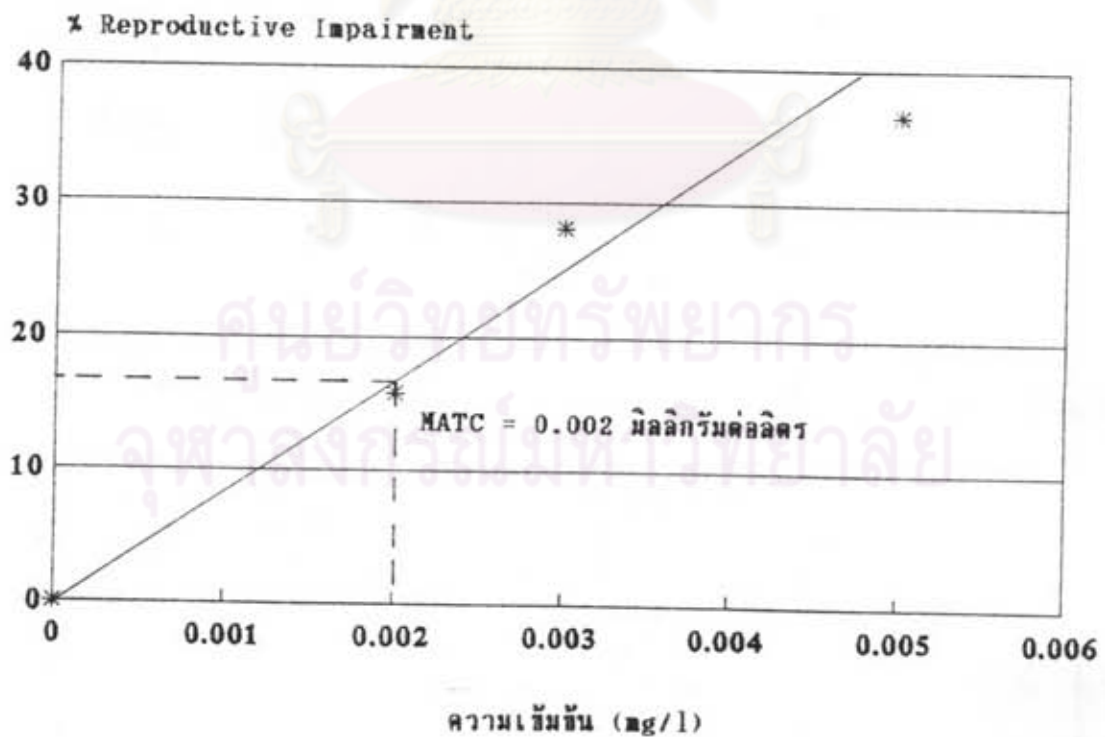
ตัวอักษรที่มุมขวาถ้าเหมือนกันในแนวนอน หมายความว่า ไม่มีความแตกต่างกันของ
ค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

ตัวอักษรที่มุมขวาถ้าแตกต่างกันในแนวนอน หมายความว่า มีความแตกต่างกันของ
ค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

ตัวอักษรที่มุมขวา 2 ตัว เช่น ab หมายความว่า ค่าเฉลี่ยนั้นไม่มีความแตกต่างจาก
a และ b ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางที่ 4.14 ผลของสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตต่อจำนวนลูกเฉลี่ยของไทราน้ำแดงรุ่น F_1 และเปอร์เซ็นต์ของจำนวนลูกไทราน้ำแดงที่ลดลงเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม

ความเข้มข้น (mg/l)	ไทราน้ำแดง (ตัว)	จำนวนลูกเฉลี่ยของ ไทราน้ำแดง 1 ตัว (ตัว)	% Reproductive Impairment (%)
0.005	15	37.00	36.57
0.003	15	41.93	28.11
0.002	15	49.13	15.77
0 (กลุ่มควบคุม)	15	58.33	0.00



รูปที่ 4.14 ระดับความเข้มข้นของคอปเปอร์ซัลเฟตที่ขอมให้มิได้ในแหล่งน้ำ โดยไม่เป็นอันตรายต่อไทราน้ำแดง

2.2.3 อายุของไรรู้แดง

เมื่อพิจารณาอายุเฉลี่ยของไรรู้แดง พบว่า อายุเฉลี่ยของไรรู้แดงในกลุ่มควบคุม มีค่ามากกว่ากลุ่มทดลองอย่างมีนัยสำคัญทุกรุ่น โดยอายุเฉลี่ยของไรรู้แดงที่ระดับความเข้มข้นของทองแดง 0.002 และ 0.003 มิลลิกรัมต่อลิตร ในรุ่น F_1 , F_2 และ F_3 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ในระดับความเข้มข้น 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร มีความแตกต่างกับกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองที่ระดับความเข้มข้น 0.002 และ 0.003 มิลลิกรัมต่อลิตร อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 สำหรับอายุเฉลี่ยของไรรู้แดงในรุ่น F_5 ของกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง พบว่ามีอายุเฉลี่ยมากกว่ารุ่น F_1 , F_2 , F_3 และ F_4 แต่ในกลุ่มควบคุมและที่สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตความเข้มข้น 0.002 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งแสดงว่าไรรู้แดงในรุ่น F_5 มีการปรับตัวทำให้มีอายุเฉลี่ยมากขึ้น (ตารางที่ 4.15)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.15 ผลของสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตต่ออายุเฉลี่ยของไรร้าแดง 1 ตัว
ในแต่ละรุ่น (วัน)

ความเข้มข้นของ สารแดง (mg/l)	ไรร้าแดง (ตัว)	อายุเฉลี่ยของไรร้าแดง 1 ตัว ในแต่ละรุ่น (วัน) ($\bar{x} \pm SD$)				
		F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅
0.005	15	^c 7.20 \pm 0.41 ^a	^c 7.13 \pm 0.35 ^a	^c 7.53 \pm 0.52 ^b	^b 8.13 \pm 0.35 ^c	^b 8.20 \pm 0.41 ^c
0.003	15	^b 8.00 \pm 0.00 ^a	^b 8.13 \pm 0.35 ^a	^b 8.40 \pm 0.50 ^a	^c 8.73 \pm 0.45 ^b	^c 8.66 \pm 0.49 ^{bc}
0.002	15	^b 8.13 \pm 0.35 ^{ab}	^b 8.00 \pm 0.38 ^b	^b 8.20 \pm 0.41 ^{ab}	^b 8.13 \pm 0.35 ^{ab}	^b 8.33 \pm 0.48 ^a
0 (กลุ่มควบคุม)	15	^a 8.73 \pm 0.45 ^{ab}	^a 8.53 \pm 0.51 ^b	^a 8.86 \pm 0.35 ^a	^a 8.86 \pm 0.35 ^a	^a 9.00 \pm 0.00 ^a

หมายเหตุ ตัวอักษรที่มุมซ้ายถ้าเหมือนกันในแนวนอน หมายความว่า ไม่มีความแตกต่างกันของ
ค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

ตัวอักษรที่มุมซ้ายถ้าแตกต่างกันในแนวนอน หมายความว่า มีความแตกต่างกันของ
ค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

ตัวอักษรที่มุมขวาถ้าเหมือนกันในแนวนอน หมายความว่า ไม่มีความแตกต่างกันของ
ค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

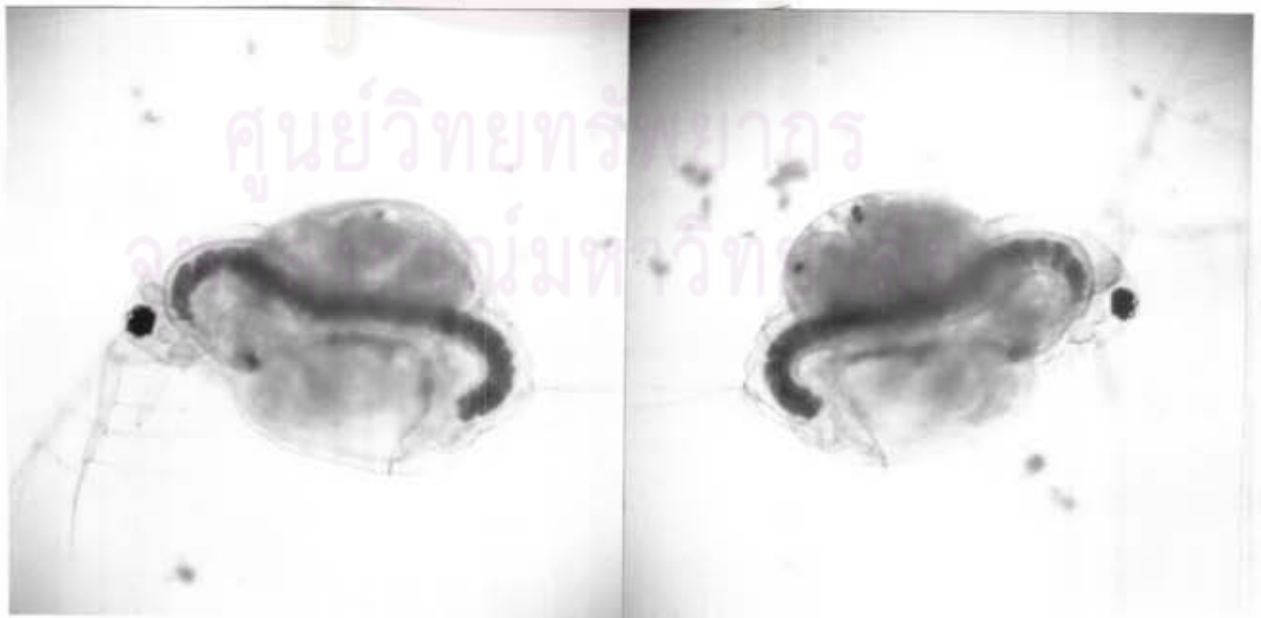
ตัวอักษรที่มุมขวาถ้าแตกต่างกันในแนวนอน หมายความว่า มีความแตกต่างกันของ
ค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

ตัวอักษรที่มุมขวา 2 ตัว เช่น ab หมายความว่า ค่าเฉลี่ยนั้นไม่มีความแตกต่างจาก
a และ b ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

2.3 นิษรของเงือบพลันของซิงค์ซัลเฟตต่อไรรน้ำแดง

2.3.1 การเจริญเติบโตและรูปร่างลักษณะ

ผลการสังเกตไรรน้ำแดง ในสารละลายซิงค์ซัลเฟต ในกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ด้วยกล้องส่องคาและกล้องจุลทรรศน์ ไม่สามารถสังเกตลักษณะที่แตกต่างกันระหว่างไรรน้ำแดงในสารละลายความเข้มข้นต่างๆ และชุดควบคุมในแต่ละรุ่นได้ ดังรูปที่ 4.15 และเมื่อนำมาวัดขนาดความยาว พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยมีขนาดเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 1.18-1.25 มิลลิเมตร แม้ไรรน้ำแดงรุ่นแรกจะให้ลูกรุ่นแรกเมื่อมีอายุประมาณ 60-72 ชั่วโมง โดยลูกไรรน้ำแดงจะมีขนาด 0.6-0.9 มิลลิเมตร จากการสังเกตพบว่า ไรรน้ำแดงจะมีการเจริญเติบโตตั้งแต่เกิดจนมีอายุประมาณ 120 ชั่วโมง หรือหลังจากให้ลูกแล้วประมาณ 2 ครั้ง หลังจากนั้นจะมีการเจริญเติบโตช้ามาก เมื่อวัดขนาดลำตัวของไรรน้ำแดงหลังจากให้ลูกครั้งที่ 1 ของกลุ่มทดลอง เทียบกับกลุ่มควบคุมที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า มีขนาดเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมในวัน F_1 , F_2 , F_3 , F_4 และ F_5 แต่ในวัน F_5 พบว่ากลุ่มทดลองที่ระดับความเข้มข้นของสังกะสี 0.04 และ 0.06 มิลลิกรัมต่อลิตร มีขนาดเฉลี่ยแตกต่างกับกลุ่มทดลองที่ระดับความเข้มข้นของสังกะสี 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติแต่ก็ไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 4.16)



กลุ่มทดลอง

กลุ่มควบคุม

รูปที่ 4.15 ลักษณะของแม่ไรรน้ำแดงในสารละลายซิงค์ซัลเฟตและกลุ่มควบคุม (40x)

ตารางที่ 4.16 ผลของสารละลายซิงค์ซัลเฟตต่อขนาดเฉลี่ยของไทริน้ำแดง 1 ตัว ในแต่ละรุ่น

ความเข้มข้นของ ซิงค์ซัลเฟต (mg/l)	ไทริน้ำแดง (ตัว)	ขนาดเฉลี่ยของไทริน้ำแดง 1 ตัว ในแต่ละรุ่น (หรือโหนด) ($\bar{x} \pm SD$)				
		F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅
0.10	15	1.20 \pm 0.09	1.21 \pm 0.07	1.22 \pm 0.07	1.22 \pm 0.07	^a 1.20 \pm 0.08
0.06	15	1.22 \pm 0.07	1.21 \pm 0.07	1.22 \pm 0.06	1.23 \pm 0.04	^b 1.24 \pm 0.01
0.04	15	1.22 \pm 0.06	1.21 \pm 0.08	1.24 \pm 0.02	1.22 \pm 0.07	^b 1.25 \pm 0.01
0 (ควบคุมความเค็ม)	15	1.18 \pm 0.09	1.18 \pm 0.06	1.20 \pm 0.06	1.22 \pm 0.06	^{ab} 1.23 \pm 0.04

หมายเหตุ ตัวอักษรที่มุมซ้ายถ้าเหมือนกันในแนวนอน หมายถึงว่า ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

ตัวอักษรที่มุมซ้ายถ้าแตกต่างกันในแนวนอน หมายถึงว่า มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3.2 การสืบพันธุ์ของไทริน้ำแดง

พบว่า ลูกไทริน้ำแดงในรุ่น F₁ ถึงรุ่น F₅ ที่นำมาทดลองในสารละลายซิงค์ซัลเฟต จะมีการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ 100 เปอร์เซ็นต์ ในทุกระดับความเข้มข้นของสารละลายทดสอบและกลุ่มควบคุม ไทริน้ำแดงที่ทำการทดลองส่วนใหญ่ ใช้เวลาการเจริญเติบโตตั้งแต่ฟักตัวจนเริ่มเกิดการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศครั้งแรกเมื่อมีอายุประมาณ 48-60 ชั่วโมง และจะออกลูกครั้งแรกเมื่อมีอายุประมาณ 60-72 ชั่วโมง เฉลี่ยวันละ 1 ครั้งจนกระทั่งตาย โดยไทริน้ำแดงจะลอกคราบ

ก่อนทำ parthenogenesis ทุกครั้ง จากการทดลอง พบว่า จำนวนลูกเฉลี่ยของไรน้ำแดงในรุ่น F_1 ในกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง ที่ระดับความเข้มข้นของสังกะสี 0.04, 0.06 และ 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 โดยมีค่าเท่ากับ 58.33, 50.13, 48.26 และ 45.80 ตัว ตามลำดับ ในรุ่น F_2 , F_3 และ F_4 ก็ให้จำนวนลูกเฉลี่ยที่ระดับความเข้มข้นของสังกะสี 0.04, 0.06 และ 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร น้อยกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญเช่นเดียวกัน แต่ในรุ่น F_5 พบว่า ที่ระดับความเข้มข้นของสารละลาย 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตรเท่านั้น ที่ทำให้จำนวนลูกของไรน้ำแดงแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อพิจารณาจำนวนลูกเฉลี่ยของไรน้ำแดงในกลุ่มควบคุม จะพบว่าในรุ่น F_2 จะมีจำนวนลูกไรน้ำแดงน้อยกว่าในรุ่น F_1 , F_3 , F_4 และ F_5 เมื่อทดสอบความแตกต่างพบว่า รุ่น F_2 มีจำนวนลูกเฉลี่ยแตกต่างจากรุ่น F_1 , F_4 และ F_5 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 และในกลุ่มทดลองพบว่าจำนวนลูกเฉลี่ยในรุ่น F_5 มีจำนวนมากที่สุดและแตกต่างกับรุ่น F_1 , F_2 , F_3 และ F_4 ที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายสังกะสีอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 4.17)

เมื่อพิจารณาจำนวนครั้งเฉลี่ยของการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศของไรน้ำแดงในรุ่น F_1 พบว่า จำนวนครั้งเฉลี่ยของการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศของกลุ่มทดลองที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ แตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนในรุ่น F_2 พบว่าจำนวนครั้งเฉลี่ยของการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศของไรน้ำแดง ในกลุ่มทดลองเทียบกับกลุ่มควบคุม ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และในรุ่น F_3 และ F_4 ก็พบว่า จำนวนครั้งเฉลี่ยของการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ มีความแตกต่างกันระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อพิจารณาจำนวนครั้งเฉลี่ยของแต่ละรุ่น พบว่า ในรุ่น F_5 มีจำนวนครั้งเฉลี่ยของการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศมากที่สุด และแตกต่างจากกลุ่มทดลองรุ่น F_1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเข้มข้น (ตารางที่ 4.18)

ตารางที่ 4.17 ผลของสารละลายซิงค์ซัลเฟตต่อจำนวนลูกเฉลี่ยของไทริน้ำแดง 1 ตัว
ในแต่ละรุ่น (ตัว)

สารเข้มข้นของ ซิงค์ซัลเฟต (mg/l)	ไทริน้ำแดง (ตัว)	จำนวนลูกเฉลี่ยของไทริน้ำแดง 1 ตัว ในแต่ละรุ่น (ตัว) ($\bar{x} \pm SD$)				
		F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅
0.10	15	^a 45.80 \pm 5.46 ^a	^b 42.40 \pm 2.89 ^{ab}	^c 41.80 \pm 3.80 ^b	^c 42.73 \pm 5.07 ^{ab}	^b 49.26 \pm 8.50 ^c
0.06	15	^{bc} 48.26 \pm 3.61 ^{ab}	^b 44.66 \pm 5.44 ^b	^b 46.66 \pm 3.75 ^{ab}	^b 49.20 \pm 6.66 ^a	^a 55.06 \pm 3.92 ^c
0.04	15	^b 50.13 \pm 4.47 ^a	^b 45.66 \pm 4.60 ^b	^b 48.00 \pm 4.20 ^{ab}	^b 49.06 \pm 2.37 ^a	^a 58.06 \pm 4.66 ^c
0 (ควบคุม)	15	^a 58.33 \pm 4.53 ^a	^a 52.27 \pm 6.38 ^b	^a 55.86 \pm 5.35 ^{ab}	^a 59.73 \pm 3.84 ^a	^a 59.86 \pm 7.55 ^a

- หมายเหตุ** ตัวอักษรที่มุมซ้ายถ้าเหมือนกันในแนวดิ่ง หมายความว่า ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05
- ตัวอักษรที่มุมซ้ายถ้าแตกต่างกันในแนวดิ่ง หมายความว่า มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05
- ตัวอักษรที่มุมซ้าย 2 ตัว เช่น ab หมายความว่า ค่าเฉลี่ยนั้นไม่มีความแตกต่างจาก a และ b ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05
- ตัวอักษรที่มุมขวาถ้าเหมือนกันในแนวนอน หมายความว่า ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05
- ตัวอักษรที่มุมขวาถ้าแตกต่างกันในแนวนอน หมายความว่า มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05
- ตัวอักษรที่มุมขวา 2 ตัว เช่น ab หมายความว่า ค่าเฉลี่ยนั้นไม่มีความแตกต่างจาก a และ b ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางที่ 4.18 ผลของสารละลายซิงค์ซัลเฟตต่อจำนวนครั้งเฉลี่ยของการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศของไรน้ำแดง 1 ตัว ในแต่ละรุ่น (ครั้ง)

ความเข้มข้นของ ซิงค์	ไรน้ำแดง (ตัว)	จำนวนครั้งเฉลี่ยของการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศของไรน้ำแดง 1 ตัว ในแต่ละรุ่น (ครั้ง) ($\bar{x} \pm SD$)				
		F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅
0.10	15	^a 3.08 \pm 0.41 ^a	^a 4.53 \pm 0.74 ^{bc}	^c 3.73 \pm 0.46 ^a	^b 4.20 \pm 0.56 ^b	^b 4.66 \pm 0.48 ^b
0.06	15	^c 4.06 \pm 0.26 ^a	^a 4.73 \pm 0.59 ^b	^{bc} 4.00 \pm 0.53 ^a	^b 4.60 \pm 0.51 ^b	^b 4.80 \pm 0.41 ^b
0.04	15	^b 4.40 \pm 0.63 ^a	^a 4.86 \pm 0.52 ^b	^b 4.07 \pm 0.26 ^a	^b 4.46 \pm 0.52 ^a	^b 5.20 \pm 0.67 ^b
0 (กลุ่มควบคุม)	15	^a 4.93 \pm 0.25 ^{ab}	^a 4.73 \pm 0.45 ^a	^a 4.87 \pm 0.35 ^{ab}	^b 5.13 \pm 0.35 ^b	^b 5.20 \pm 0.41 ^b

หมายเหตุ ตัวอักษรที่มุมซ้ายถ้าเหมือนกันในแนวดิ่ง หมายความว่า ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

ตัวอักษรที่มุมซ้ายถ้าแตกต่างกันในแนวดิ่ง หมายความว่า มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

ตัวอักษรที่มุมซ้าย 2 ตัว เช่น ab หมายความว่า ค่าเฉลี่ยนั้นไม่มีความแตกต่างจาก a และ b ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตัวอักษรที่มุมขวากถ้าเหมือนกันในแนวนอน หมายความว่า ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

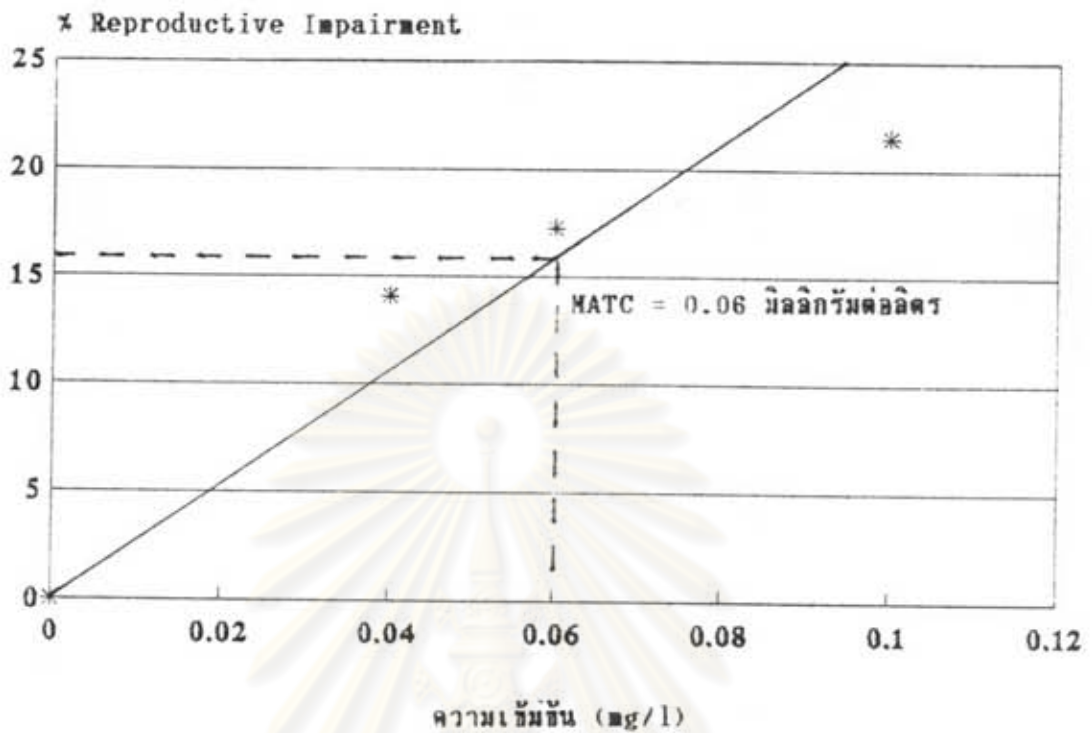
ตัวอักษรที่มุมขวากถ้าแตกต่างกันในแนวนอน หมายความว่า มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

ตัวอักษรที่มุมขวา 2 ตัว เช่น ab หมายความว่า ค่าเฉลี่ยนั้นไม่มีความแตกต่างจาก a และ b ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

เมื่อนำจำนวนลูกเฉลี่ยของไรน้ำแดงในรุ่น F_1 ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ของสารละลายสังกะสี มาวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นของสารละลายสังกะสี ที่ทำให้จำนวนลูกไรน้ำแดงลดลงน้อยกว่าร้อยละ 16 เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ซึ่งเป็นระดับความเข้มข้นสูงสุดของสังกะสีที่ขอมให้มีในสภาพแวดล้อม ที่ไรน้ำแดงอาศัยอยู่ได้โดยไม่เป็นอันตราย ตามวิธีของ Biesinger และ Christensen (1972) พบว่า มีค่าเท่ากับ 0.06 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังตารางที่ 4.19 และรูปที่ 4.16

ตารางที่ 4.19 ผลของสารละลายสังกะสีที่ลดต่อจำนวนลูกเฉลี่ยของไรน้ำแดงรุ่น F_1 และเปอร์เซ็นต์ของจำนวนลูกไรน้ำแดงที่ลดลงเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม

ความเข้มข้น (mg/l)	ไรน้ำแดง (ตัว)	จำนวนลูกเฉลี่ยของ ไรน้ำแดง 1 ตัว (ตัว)	% Reproductive Impairment (%)
0.100	15	45.80	21.48
0.060	15	48.26	17.26
0.040	15	50.13	14.06
0 (กลุ่มควบคุม)	15	58.33	0.00



รูปที่ 4.16 ระดับความเข้มข้นของซิงค์ซัลเฟตที่ขอมให้มิได้ในแหล่งน้ำ โดยไม่เป็นอันตรายต่อ
ไรวน้ำแดง

2.2.3 อายุของไรวน้ำแดง

พบว่า อายุเฉลี่ยของไรวน้ำแดงในสารละลายซิงค์ซัลเฟตความเข้มข้นต่างๆ ในรุ่น F_1 - F_5 มีอายุเฉลี่ย 7.60-9.00 วัน เมื่อทดสอบค่าความแตกต่างทางสถิติพบว่า ในรุ่น F_1 อายุเฉลี่ยของไรวน้ำแดงในกลุ่มทดลองแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่อายุเฉลี่ยของไรวน้ำแดงที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายสังกะสี 0.04 และ 0.06 มิลลิกรัมต่อลิตร ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ในระดับความเข้มข้น 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร มีความแตกต่างกับกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองที่ระดับความเข้มข้น 0.04 และ 0.06 มิลลิกรัมต่อลิตร อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อพิจารณาอายุเฉลี่ยของไรวน้ำแดงในรุ่น F_1 ถึงรุ่น F_5 ของกลุ่มควบคุมพบว่า ในรุ่น F_2 จะมีอายุเฉลี่ยที่น้อยที่สุด และแตกต่างจากรุ่น F_3 , F_4 และ F_5 อย่างมีนัยสำคัญ ส่วนในกลุ่มทดลองพบว่าอายุเฉลี่ยของไรวน้ำแดงในรุ่นที่ 5 มีอายุเฉลี่ยสูงที่สุดทุกระดับความเข้มข้น และแตกต่างจากรุ่น F_1 , F_2 และ F_3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.20 ผลของสารละลายซิงค์ซัลเฟตต่ออายุเฉลี่ยของไอน้ำแดง 1 ตัว
ในแต่ละรุ่น (วัน)

ความเข้มข้นของ ซิงค์ซัลเฟต (mg/l)	ไอน้ำแดง (ตัว)	อายุเฉลี่ยของไอน้ำแดง 1 ตัว ในแต่ละรุ่น (วัน) ($\bar{x} \pm SD$)				
		F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅
0.10	15	^c 7.60 ± 0.50 ^a	^a 8.20 ± 0.41 ^a	^b 7.73 ± 0.46 ^a	^c 8.27 ± 0.46 ^b	^b 8.47 ± 0.52 ^b
0.06	15	^b 8.20 ± 0.41 ^{ab}	^a 8.46 ± 0.52 ^{ac}	^b 7.93 ± 0.45 ^b	^b 8.46 ± 0.52 ^{ac}	^a 8.30 ± 0.41 ^c
0.04	15	^b 8.40 ± 0.50 ^a	^a 8.40 ± 0.51 ^a	^b 8.00 ± 0.53 ^b	^{bc} 8.40 ± 0.50 ^a	^a 9.00 ± 0.00 ^c
0 (กลุ่มควบคุม)	15	^a 8.73 ± 0.45 ^{ab}	^a 8.53 ± 0.51 ^b	^a 8.87 ± 0.35 ^a	^a 8.86 ± 0.35 ^a	^a 9.00 ± 0.00 ^a

หมายเหตุ ตัวอักษรที่มุมซ้ายถ้าเหมือนกันในแนวดิ่ง หมายความว่า ไม่มีความแตกต่างกันของ
ค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

ตัวอักษรที่มุมซ้ายถ้าแตกต่างกันในแนวดิ่ง หมายความว่า มีความแตกต่างกันของ
ค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

ตัวอักษรที่มุมซ้าย 2 ตัว เช่น ab หมายความว่า ค่าเฉลี่ยนั้นไม่มีความแตกต่างจาก
a และ b ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตัวอักษรที่มุมขวาถ้าเหมือนกันในแนวนอน หมายความว่า ไม่มีความแตกต่างกันของ
ค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

ตัวอักษรที่มุมขวาถ้าแตกต่างกันในแนวนอน หมายความว่า มีความแตกต่างกันของ
ค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

ตัวอักษรที่มุมขวา 2 ตัว เช่น ab หมายความว่า ค่าเฉลี่ยนั้นไม่มีความแตกต่างจาก
a และ b ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

2.4 การหาค่าปัจจัยปรับค่า (application factor) ของโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด

สามารถหาได้จากสัดส่วนระหว่างค่า MATC และค่า 48-h LC_{50} ซึ่งจากการทดลองสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.21

ตารางที่ 4.21 แสดงการหาค่าปัจจัยปรับค่า และค่าสัดส่วนความเป็นพิษเฉียบพลันกับพิษเรื้อรังของโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด

โลหะหนัก	MATC (mg/l)	48-h LC_{50} (mg/l)	ค่าปัจจัยปรับค่า (application factor)	acute chronic ratio (ACR)
Cd	0.03	0.14	$\frac{0.03}{0.14} = 0.21$	4.76
Cu	0.002	0.019	$\frac{0.002}{0.019} = 0.10$	10.00
Zn	0.06	0.40	$\frac{0.06}{0.40} = 0.15$	6.66

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย