

## บทที่ 4

### ผลการศึกษาวิจัยและวิจารณ์ผล

#### 1. ผลการศึกษาพิษเฉียบพลัน

หาระดับความเข้มข้นของสารเคมีกำจัดแมลง คลอร์ไพริฟอส คาร์บาริล และ อีโธเฟนพรีอซ ที่ทำให้ไรแดงตายร้อยละ 50 ที่ระยะเวลาต่างๆ โดยการนำจำนวนการตายสะสมของไรแดงมาคำนวณหาค่า  $LC_{50}$  จากการวิเคราะห์ค่าไพรมิท โดยใช้โปรแกรม spss for window รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข

##### 1.1 พิษเฉียบพลันของคลอร์ไพริฟอสต่อไรแดง

จากการศึกษาทดลองพบว่า ความเข้มข้นของคลอร์ไพริฟอสในสภาพสารละลายเดียวที่ทำให้ไรแดง (*Moina macrocopa straus*) ตายร้อยละ 50 ในช่วงเวลา 12, 24 และ 48 ชั่วโมงที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 0.1, 0.082 และ 0.075 ไมโครกรัมต่อลิตร ( $\mu\text{g/l}$ ) ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองพิษเฉียบพลันของคลอร์ไพริฟอสต่อไรแดง ในระยะเวลา 48 ชั่วโมง

ความเข้มข้น ( $\mu\text{g/l}$ )	ไรแดง (ตัว)	จำนวนและเปอร์เซ็นต์การตายสะสมในระยะเวลาต่างๆ									
		3 ชม.		6 ชม.		12 ชม.		24 ชม.		48 ชม.	
		จำนวน	%	จำนวน	%	จำนวน	%	จำนวน	%	จำนวน	%
0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0 (อะซิโตน)	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.06	50	0	0	0	0	3	6	5	10	7	14
0.072	50	0	0	0	0	5	10	13	26	20	40
0.084	50	0	0	0	0	15	30	23	46	34	68
0.096	50	0	0	4	8	19	38	35	70	43	86
0.108	50	0	0	7	14	26	52	47	94	50	100
0.12	50	0	0	10	20	42	84	50	100	50	100
$LC_{50}$ ( $\mu\text{g/l}$ )		-		-		0.1		0.082		0.075	
พิสัย		-		-		0.096 - 0.106		0.079 - 0.085		0.072 - 0.078	

## 1.2 พิษเฉียบพลันของคาร์บาริลต่อไรแดง

จากการศึกษาทดลองพบว่า ความเข้มข้นของคาร์บาริลในสภาพสารละลายเดี่ยวที่ทำให้ไรแดง ตายร้อยละ 50 ในช่วงเวลา 12, 24 และ 48 ชั่วโมงที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 23.12, 20.37 และ 17.84 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองพิษเฉียบพลันของคาร์บาริลต่อไรแดง ในระยะเวลา 48 ชั่วโมง

ความเข้มข้น ( $\mu\text{g/l}$ )	ไรแดง (ตัว)	จำนวนและเปอร์เซ็นต์การตายสะสมในระยะเวลาต่างๆ									
		3 ชม.		6 ชม.		12 ชม.		24 ชม.		48 ชม.	
		จำนวน	%	จำนวน	%	จำนวน	%	จำนวน	%	จำนวน	%
0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0 (อะซิโตน)	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	50	8	16	3	6	4	8	6	12	8	16
17	50	8	16	5	10	9	18	12	24	22	44
20	50	10	20	8	16	16	32	22	44	32	64
23	50	11	22	12	24	20	40	27	54	41	82
26	50	12	24	15	30	32	64	44	88	50	100
29	50	14	28	17	34	41	82	48	96	50	100
$LC_{50}$ ( $\mu\text{g/l}$ )		-	-	-	-	23.12		20.37		17.84	
พิสัย		-	-	-	-	21.96-24.496		19.47-21.276		17.0-18.6	

## 1.3 พิษเฉียบพลันของอีโรเฟนพรีออกซ์ต่อไรแดง

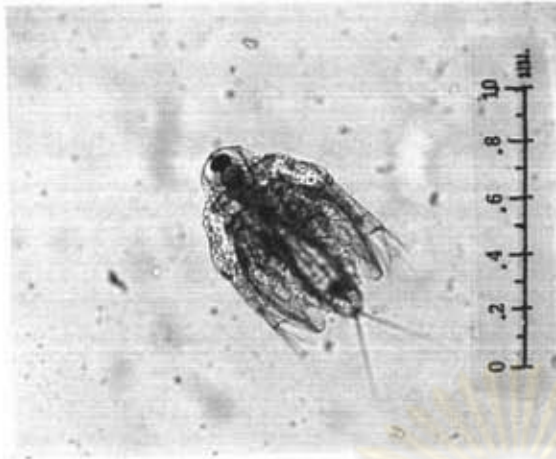
จากการศึกษาทดลองพบว่า ความเข้มข้นของอีโรเฟนพรีออกซ์ในสภาพสารละลายเดี่ยวที่ทำให้ไรแดงตายร้อยละ 50 ในช่วงเวลา 12, 24 และ 48 ชั่วโมงที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 10.45, 9.02 และ 7.64 ไมโครกรัมต่อลิตรตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองพิษเฉียบพลันของอีโรเฟนพริกซ์ต่อไรแดง ในระยะเวลา 48 ชั่วโมง

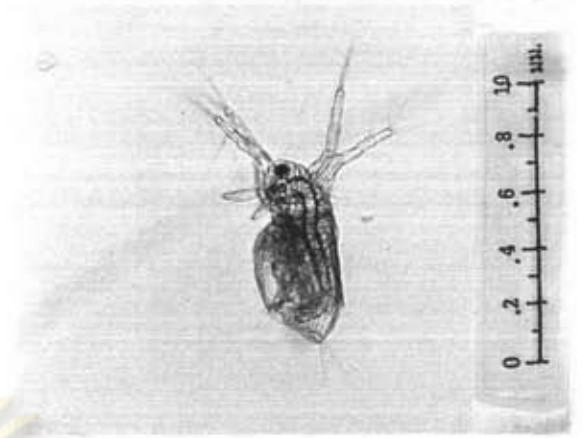
ความเข้มข้น ( $\mu\text{g/l}$ )	ไรแดง (ตัว)	จำนวนและเปอร์เซ็นต์การตายสะสมในระยะเวลาต่างๆ									
		3 ชม.		6 ชม.		12 ชม.		24 ชม.		48 ชม.	
		จำนวน	%	จำนวน	%	จำนวน	%	จำนวน	%	จำนวน	%
0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0 (อะซิโตน)	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	50	0	0	0	0	0	0	3	6	4	8
7.2	50	0	0	0	0	3	6	5	10	16	32
8.4	50	0	0	0	0	10	20	20	40	39	78
9.6	50	0	0	6	12	16	32	32	64	43	86
10.8	50	0	0	8	16	26	52	38	76	50	100
12	50	0	0	12	24	38	76	45	90	50	100
LC50 ( $\mu\text{g/l}$ )		-		-		10.45		9.02		7.64	
พิสัย		-		-		10.04 - 10.96		8.67 - 9.38		7.37 - 7.9	

จากผลการทดลองพิษเฉียบพลันของสารเคมีกำจัดแมลง คลอร์ไพริฟอส คาร์บาริล และอีโรเฟนพริกซ์ที่มีต่อไรแดงนั้นไม่พบการตายของไรแดงเกิดขึ้นในกลุ่มควบคุมทั้ง 2 กลุ่ม ลักษณะของไรแดงในสารเคมีกำจัดแมลงคลอร์ไพริฟอส คาร์บาริล และอีโรเฟนพริกซ์ในระดับพิษเฉียบพลัน เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม แสดงในรูปที่ 4.1, 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ สำหรับในกลุ่มทดลองจะได้รับความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การตายของไรแดงกับความเข้มข้นของสารทดสอบแต่ละชนิดที่ระยะเวลาต่างๆ โดยที่เปอร์เซ็นต์การตายจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นที่สูงขึ้น และระยะเวลาในการสัมผัสสารนานขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.4, 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ ยกเว้นในสารละลายคาร์บาริล พบว่าที่ระดับความเข้มข้นต่ำและระยะเวลาในการสัมผัสสารสั้นๆ โดยเฉพาะที่เวลา 3 ชั่วโมง ไรแดงบางตัวหยุดการเคลื่อนไหว จมลงก้นภาชนะ (ซึ่งตามเกณฑ์ที่กำหนดถือว่าตาย) จากนั้นที่เวลา 6 ชั่วโมง พบว่ามีอาการเป็นปกติเมื่อเทียบกับชุดควบคุม และเมื่อเวลาผ่านไปจนถึง 48 ชั่วโมง ไรแดงในกลุ่มนี้มีการตายเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นและระยะเวลา เช่นเดียวกับการทดสอบด้วยคลอร์ไพริฟอสและอีโรเฟนพริกซ์



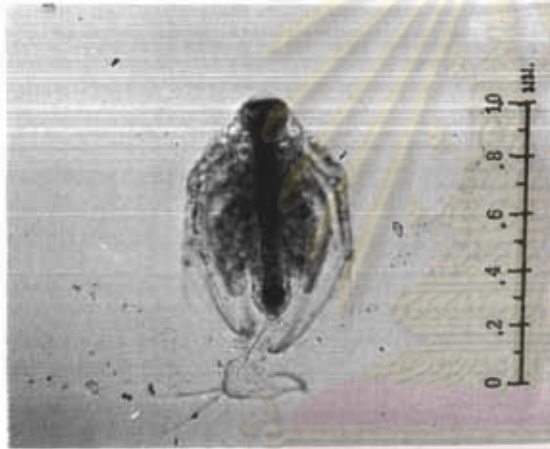


กลุ่มทดลอง



กลุ่มควบคุม

รูปที่ 4.1 ลักษณะของไรแดงในสารละลายคลอรีไพริฟอส และกลุ่มควบคุม (4x10)

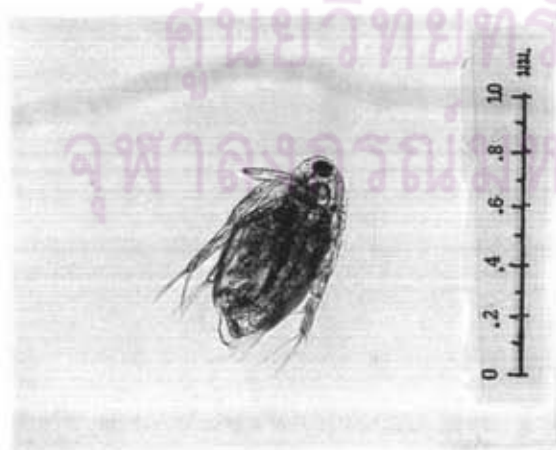


กลุ่มทดลอง



กลุ่มควบคุม

รูปที่ 4.2 ลักษณะของไรแดงในสารละลายคาร์บาริล และกลุ่มควบคุม (4x10)

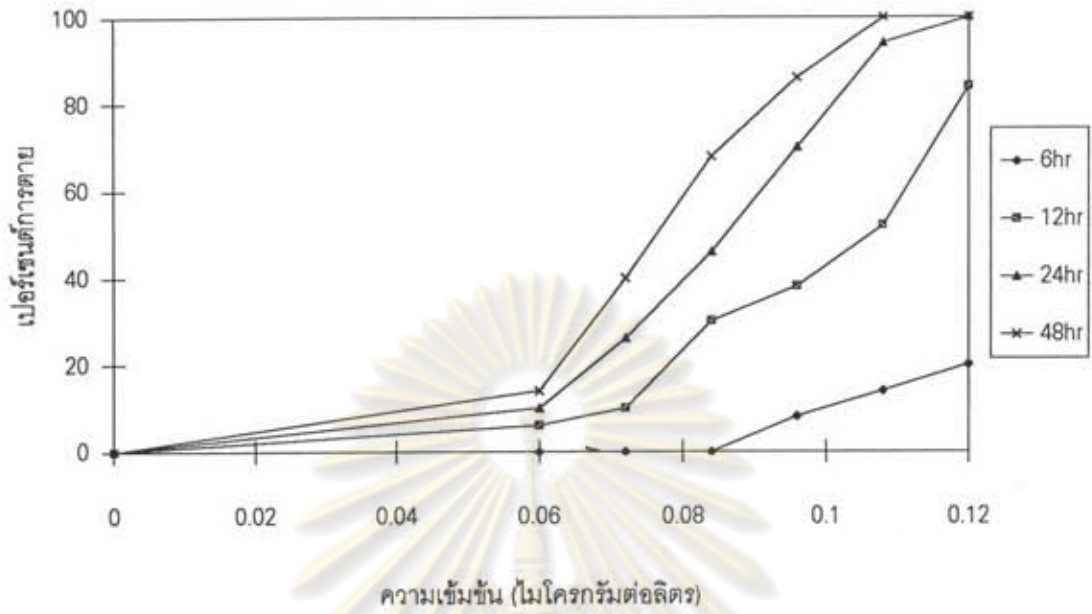


กลุ่มทดลอง

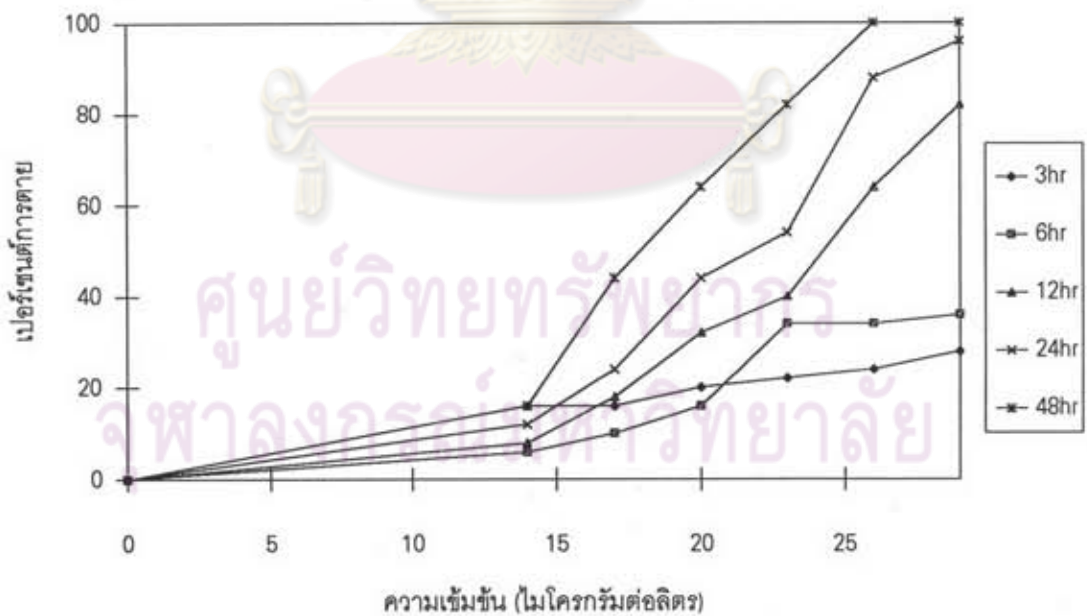


กลุ่มควบคุม

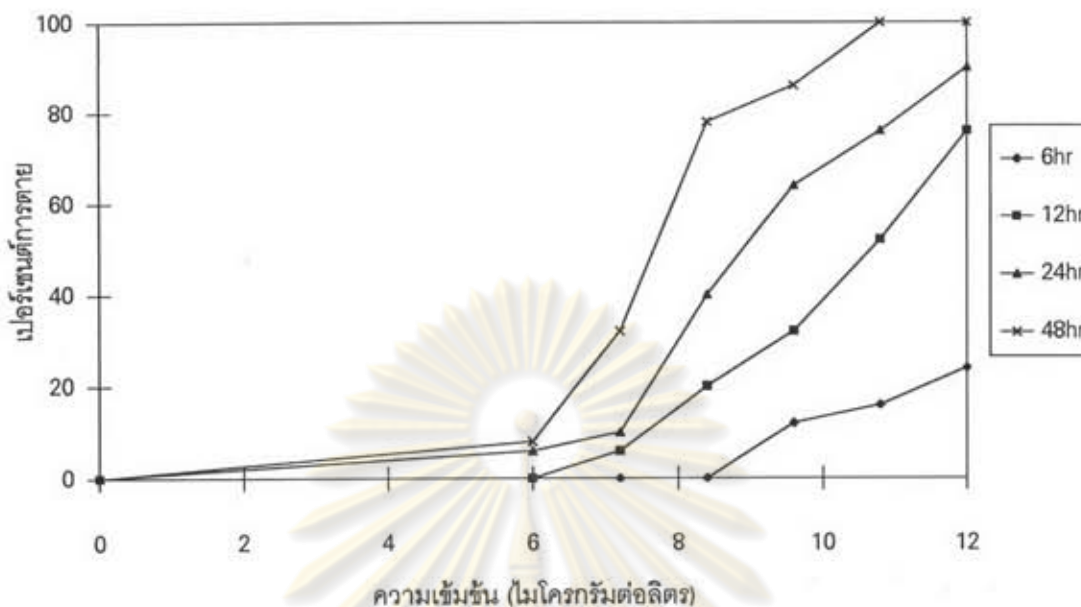
รูปที่ 4.3 ลักษณะของไรแดงในสารละลายอีโธเฟนพริอิกซ์ และกลุ่มควบคุม (4x10)



รูปที่ 4.4 การตายสะสมของไรแดงต่อคลอโรไฟลล์ที่ระยะเวลาต่างๆ



รูปที่ 4.5 การตายสะสมของไรแดงต่อคาร์บาริลที่ระยะเวลาต่างๆ



รูปที่ 4.6 การตายสะสมของไรแดงต่ออีโรเฟนพริกซ์ที่ระยะเวลาต่างๆ

สำหรับความเข้มข้นของ คลอร์ไพริฟอส คาร์บาริล และอีโรเฟนพริกซ์ ที่ทำให้ไรแดงตาย 50 เปอร์เซ็นต์ ที่เวลา 48 ชั่วโมง (48-h  $LC_{50}$ ) มีค่าเท่ากับ 0.075, 17.84 และ 7.64 ไมโครกรัมต่อลิตรตามลำดับ แสดงว่าคลอร์ไพริฟอสมีความเป็นพิษต่อไรแดงสูงที่สุด รองลงมาคืออีโรเฟนพริกซ์ และคาร์บาริล (ตารางที่ 4.4)

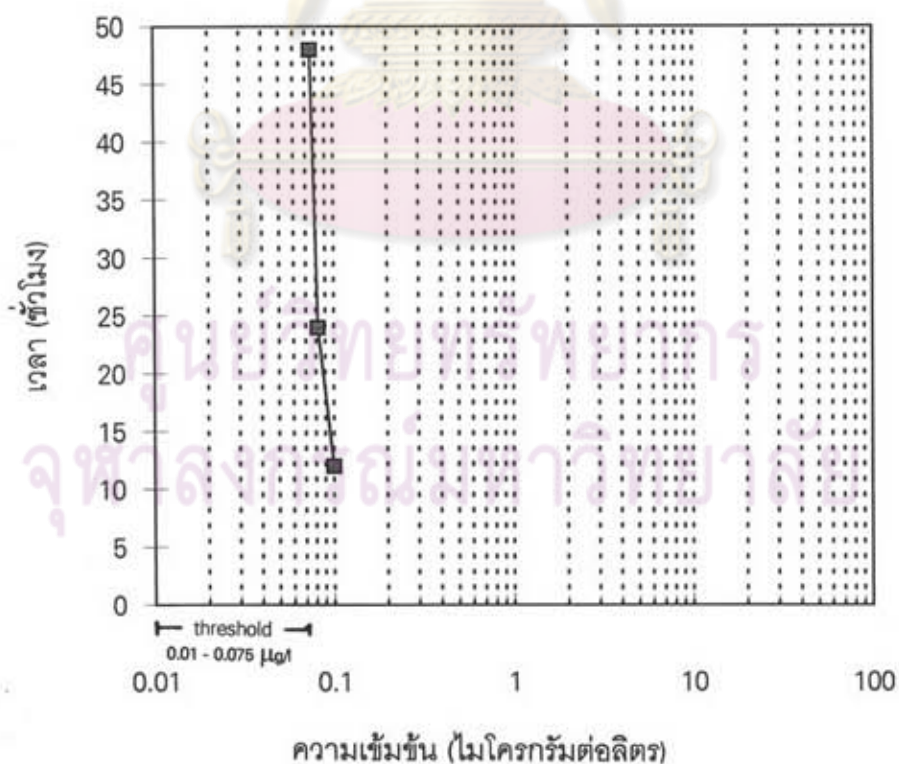
เมื่อเขียนกราฟล๊อคแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคลอร์ไพริฟอส คาร์บาริล และอีโรเฟนพริกซ์ กับค่า  $LC_{50}$  ที่ระยะเวลาต่างๆ จะได้ เส้นโค้งความเป็นพิษ (toxicity curve) ดังรูปที่ 4.7, 4.8 และ 4.9 ตามลำดับจะเห็นได้ว่า ที่ระดับความเข้มข้นของสารลดลง เส้นกราฟเริ่มเป็นเส้นตรงขนานกับแกนตั้งซึ่งเป็นระยะเวลาสัมผัส เห็นได้ชัดเจนเมื่อระยะเวลาสัมผัสสารนานขึ้น ค่า  $LC_{50}$  ตรงจุดที่เส้นกราฟเริ่มเป็นเส้นตรงนี้ เรียกว่า threshold หรือ incipient  $LC_{50}$  และจากการทดลองในครั้งนี้พบว่า ที่เวลา 48 ชั่วโมง เส้นกราฟเริ่มขนานกับแกนเวลา จึงถือได้ว่าที่ระดับ 48-h  $LC_{50}$  เป็นระดับความเข้มข้นและเวลาสัมผัสสารที่น้อยที่สุดที่ไรแดงสามารถทนได้ร้อยละ 50 ของประชากรไรแดงที่ทดสอบทั้งหมด (Sprague, 1969) และระดับความเข้มข้นที่ไรแดงทนอยู่ได้โดยไม่ตายของคลอร์ไพริฟอส มีค่าต่ำสุด รองลงมาคือ อีโรเฟนพริกซ์ และคาร์บาริล ดังนั้น คลอร์ไพริฟอสจึงมีความเป็นพิษสูงสุด รองลงมาคือ อีโรเฟนพริกซ์และคาร์บาริล ตามลำดับ และจากการศึกษาของ Linber และ Solomon (1994) พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $LC_{50}$  และระยะเวลาสัมผัสสาร 48, 60, 72, 84 และ 96 ชั่วโมง มีความแตกต่างอย่างไม่เป็นนัยสำคัญ



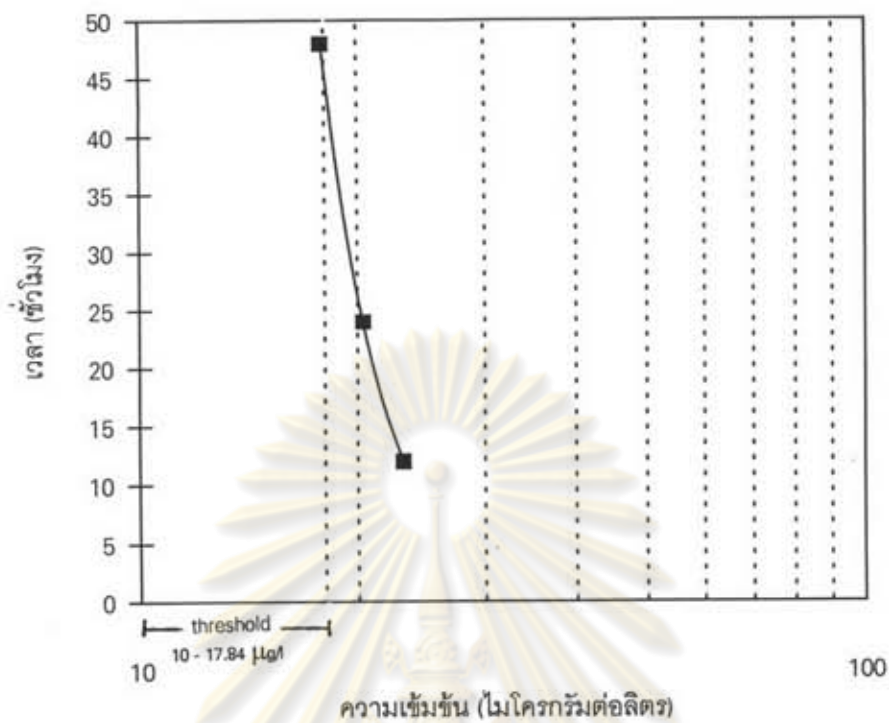
( $P < 0.05$ ) จึงถือว่าจุดสิ้นสุดของการเกิดพิษที่เวลา 48 ชั่วโมง เป็นตัวชี้วัดที่แสดงผลกระทบของสารพิษได้สมบูรณ์ ซึ่งสอดคล้องกับข้อสันนิษฐานของ Lee (1980) เช่นเดียวกัน

ตารางที่ 4.4 ค่า  $LC_{50}$  ของสารเคมีกำจัดแมลงทั้ง 3 ชนิดที่ระยะเวลาต่างๆ

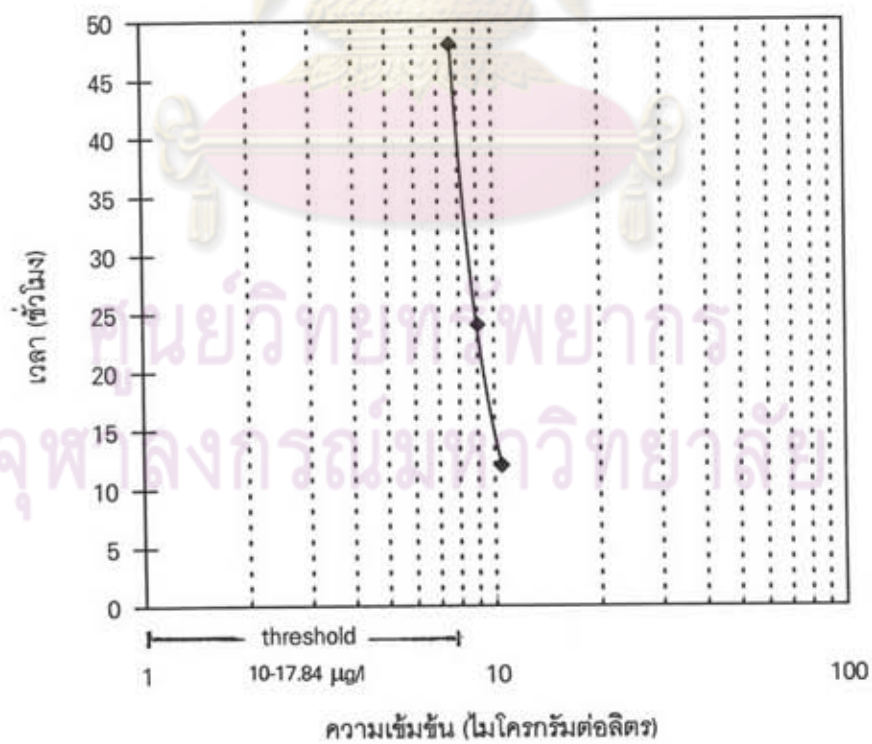
เวลาสัมผัสสาร (ชั่วโมง)	ค่า $LC_{50}$ ของสารเคมีกำจัดแมลงทั้ง 3 ชนิดต่อไรแดง (ไมโครกรัมต่อลิตร)		
	คลอร์ไพริฟอส	อีโรเฟนพริกซ์	คาร์บาริล
12	0.1 (0.096 - 0.106)	10.45 (10.04 - 10.96)	23.12 (21.96-24.49)
24	0.082 (0.079 - 0.085)	9.02 (8.67 - 9.38)	20.37 (19.47 - 21.27)
48	0.075 (0.072 - 0.078)	7.64 (7.37 - 7.9)	17.84 (17.0 - 18.6)



รูปที่ 4.7 เส้นโค้งความเป็นพิษ  $LC_{50}$  ที่เวลา 48 ชั่วโมง ของคลอร์ไพริฟอสต่อไรแดง



รูปที่ 4.8 เส้นโค้งความเป็นพิษ LC<sub>50</sub> ที่เวลา 48 ชั่วโมง ของคาร์บาริลต่อไรแดง



รูปที่ 4.9 เส้นโค้งความเป็นพิษ LC<sub>60</sub> ที่เวลา 48 ชั่วโมง ของอีโธเฟนพรีออร์คต่อไรแดง



เมื่อพิจารณาค่าความเป็นพิษของสารทดสอบต่อไรแดง *Moina macrocopa* เปรียบเทียบกับความเป็นพิษต่อไรแดงสายพันธุ์อื่น พบว่า มีความเป็นพิษต่างกันอย่างเห็นได้ชัด จากการศึกษาความเป็นพิษของคลอริไพริฟอสต่อ *Daphnia longispina* พบว่า ค่า 48-h  $EC_{50}$  เท่ากับ 0.4 ไมโครกรัมต่อลิตร (Van Wijngaarden และคณะ, 1993) และใน *Daphnia magna* มีค่า 48-h  $EC_{50}$  เท่ากับ 1.0 ไมโครกรัมต่อลิตร (Kersting และ Van Wijngaarden, 1992) แต่ค่า 48-h  $LC_{50}$  ของคลอริไพริฟอสที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้มีค่าเท่ากับ 0.075 ไมโครกรัมต่อลิตร จึงอาจกล่าวได้ว่า *Moina macrocopa* มีความไวต่อคลอริไพริฟอสสูงกว่าไรแดงในกลุ่ม *Daphnia* sp. สำหรับความเป็นพิษของคาร์บาริล มีการศึกษาพบว่า ค่า 48-h  $LC_{50}$  ของคาร์บาริลต่อ *Daphnia* sp เท่ากับ 0.006 มิลลิกรัมต่อลิตร (Johnson และ Finley, 1980) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการศึกษาของ Sanders และ Cope (1966) ที่พบว่า ค่า 48-h  $LC_{50}$  ของคาร์บาริลต่อ *Daphnia magna* เท่ากับ 0.0064 มิลลิกรัมต่อลิตร

สำหรับการศึกษาความเป็นพิษของสารไพริทรอยด์สังเคราะห์ชนิดอื่น ได้แก่ permethrin, cypermethrin, deltamethrin และ fenvalerate ต่อแพลงค์ตอนสัตว์ในน้ำจืด พบว่า ค่าความเป็นพิษเฉียบพลันอยู่ในช่วง 0.12 - 5.0 ไมโครกรัมต่อลิตรสำหรับพวก cladocerans และ copepod (Day, 1989)

#### 1.4 พฤติกรรมของไรแดงต่อสารทดสอบ

เมื่อไรแดงได้รับพิษของสารเคมีกำจัดแมลง คลอริไพริฟอส คาร์บาริล และอีโรเฟนพริอกรีที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ จะมีการตอบสนองที่คล้ายคลึงกันคือ ที่ระดับความเข้มข้นของสารสูง ไรแดงจะมีพฤติกรรมการตอบสนองที่ชัดเจนกว่าที่ระดับความเข้มข้นของสารต่ำ จากการสังเกตพบว่าที่ระดับความเข้มข้นสูงๆ ไรแดงจะเสียการทรงตัว โดยการเคลื่อนไหวช้าลง ไม่สามารถว่ายน้ำได้เป็นปกติ ลำตัวหุบนิ่งสลับกับขยับตัวเล็กน้อย จมลงสู่ก้นภาชนะและตายในเวลาต่อมา ส่วนที่ระดับความเข้มข้นต่ำๆ ไรแดงว่ายน้ำได้ช้าลงเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม เมื่อนำไรแดงที่ตายแล้วมาตรวจดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบว่า ลำตัวมีสีขาวยืด มองเห็นอวัยวะภายในไม่ชัดเจน เปลือกหุ้มลำตัวเปิดขยายออก บางตัวตายขณะที่กำลังลอกคราบ ส่วนในสารละลายความเข้มข้นต่ำ พบว่า ไรแดงไม่ตายในทันที แต่จะมีอาการเกร็งของลำตัว หัวใจเต้นเร็ว หนวดทั้งสองข้าง (antenna) ไม่สามารถเคลื่อนไหวได้เป็นปกติ มักจะหุบลงแนบกับลำตัว นอกจากนี้ยังพบว่าไรแดงจะมีการลอกคราบ 1 ครั้งในระยะเวลาสัมผัสสาร 48 ชั่วโมง เช่นเดียวกับการทดลองของ Buhl และคณะ (1993) ซึ่งพบว่าทุกกลุ่มอายุของ *Daphnia magna* (neonate, 7, 14 และ 15 วัน) จะมีการลอกคราบอย่างน้อย 1 ครั้งเมื่อได้รับสารกำจัดวัชพืช Bromoxynil ในระยะเวลา 48 ชั่วโมง ซึ่งสอดคล้องกับ Lee

และ Bulkema (1979) ที่ทดลองกับ *Daphnia pulex* เป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง พบว่า สัตว์ทดลองเกือบทั้งหมดจะมีการลอกคราบในระหว่างได้รับสัมผัสสารพิษ

จากการที่ไรแดงไม่สามารถเคลื่อนที่ได้เมื่อได้รับสารเคมีกำจัดแมลงทั้ง 3 ชนิด อาจเนื่องมาจากสารเคมีเหล่านี้มีผลไปทำลายการส่งกระแสประสาทของเส้นประสาทบริเวณกล้ามเนื้อที่ควบคุมการทำงานของ antenna (มี 3 มัดใหญ่ๆ อยู่บริเวณส่วนหัวของไรแดง) ซึ่งเป็นอวัยวะสำคัญในการเคลื่อนที่ของไรแดง จึงส่งผลให้ antenna ไม่สามารถทำงานได้เป็นปกติ โดยจะหุบแนบลำตัวดังกล่าวแล้วข้างต้น เช่นเดียวกับการศึกษาของ Fernández และคณะ (1994) และ Miller และ Adams (1982) ที่พบว่าสารเคมีกำจัดแมลงมีผลไปรบกวนระบบประสาทจึงทำให้การเคลื่อนไหวของ filter-feeding appendages ของไรแดงลดลง หรือสารเคมีกำจัดแมลงอาจมีผลไปยึดจับอนุภาคต่างๆ ในน้ำตรึงบริเวณหนวดซึ่งเป็นอวัยวะที่ไรแดงใช้ในการว่ายน้ำ และจากการศึกษาของ Stratton และ Croke (1981) พบว่า permethrin มีผลทำให้หนวดของ *Daphnia magna* เหนียว ไม่สามารถว่ายน้ำได้เป็นปกติ นอกจากนี้ผลต่อกล้ามเนื้อที่ควบคุมการทำงานของ antenna แล้ว สารทดสอบทั้ง 3 ชนิดไปมีผลต่อกล้ามเนื้อที่ควบคุมการทำงานของตารวม (compound eye) ของไรแดงเช่นเดียวกัน สังเกตจากกล้องจุลทรรศน์พบว่าตาของไรแดงบางตัวมีลักษณะกระจายหรือแตกออกไม่เป็นวงกลมอย่างปกติ

พฤติกรรมที่สังเกตได้ชัดเจนอีกอย่างหนึ่งคือ ในสารละลายคาร์บาไรลที่ระดับความเข้มข้นต่ำๆ ไรแดงบางตัวจะมีอาการคล้ายสลบ ไม่เคลื่อนที่ จมลงสู่บีกเกอร์ โดยจะแสดงอาการให้เห็นตั้งแต่เริ่มได้รับสารไปแล้ว 3 ชั่วโมงแรก และจะฟื้นขึ้นมาเป็นปกติเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมที่เวลา 6 ชั่วโมง ซึ่งพฤติกรรมนี้เกิดขึ้นสม่าเสมอของการทดลองซ้ำ คิดเป็นร้อยละการฟื้นตัวที่ระดับความเข้มข้น 14, 17 และ 20 ไมโครกรัมต่อลิตรเป็นร้อยละ 10, 6 และ 4 ตามลำดับ ซึ่งอาการเช่นนี้มีลักษณะคล้ายอาการน็อก-ดาวน์ ที่มักพบในกลุ่มไพรีทรอยด์ แต่สำหรับการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้พบในคาร์บาไรลซึ่งเป็นสารกลุ่มคาร์บาเมตและไม่พบอาการเช่นนี้เมื่อทดสอบกับอโรเฟนพริกซ์ จึงไม่อาจยืนยันได้แน่ชัดว่าลักษณะอาการที่ไรแดงมีการฟื้นขึ้นมาในระยะเวลาหนึ่งเมื่อได้รับคาร์บาไรลจะเป็นผลจากการน็อก-ดาวน์

### 1.5 คุณภาพน้ำในการทดสอบพิษเฉียบพลัน

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำที่ใช้ในการทดสอบพิษเฉียบพลัน พบว่า คุณภาพน้ำในกลุ่มทดลองมีค่าใกล้เคียงกับกลุ่มควบคุม โดยที่คุณภาพน้ำก่อนและหลังการทดลองมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ดังตารางที่ 4.5 ค่าดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำที่วิเคราะห์ได้ในการศึกษาค้นคว้านี้ อยู่ในช่วงที่ยอมรับ



ได้และไม่มีผลกระทบต่อสัตว์ทดลอง และเนื่องจากการศึกษาพิษเฉียบพลันกระทำในระยะเวลาสั้น คุณภาพน้ำจึงมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

ตารางที่ 4.5 คุณภาพน้ำที่ใช้ในการทดสอบพิษเฉียบพลัน

ปัจจัยคุณภาพน้ำ	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	7.1 - 7.3	7.2 - 7.3
อุณหภูมิ (°C)	27.2 - 28	27 - 28
ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (mg/l)	6.4 - 6.7	6.3 - 6.6
ความกระด้าง (mg/l as CaCO <sub>3</sub> )	113 - 115.3	112 - 114
ความเป็นด่าง (mg/l as CaCO <sub>3</sub> )	92 - 96	91.3 - 94

## 2. ผลการศึกษาพิษรองเฉียบพลัน

ศึกษาพิษรองเฉียบพลันของ คลอร์ไพริฟอส คาร์บาริล และอีโรเฟนพรีออร์ค ที่มีผลต่อจำนวนลูก จำนวนครั้งที่มีการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ (parthenogenesis) อายุ และขนาดลำตัวของไรแดง เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ได้ผลการทดลองตามชนิดของสารทดสอบ ดังนี้

### 2.1 พิษรองเฉียบพลันของคลอร์ไพริฟอสต่อไรแดง

#### 2.1.1 ผลต่อขนาดรูปร่างและการเติบโต

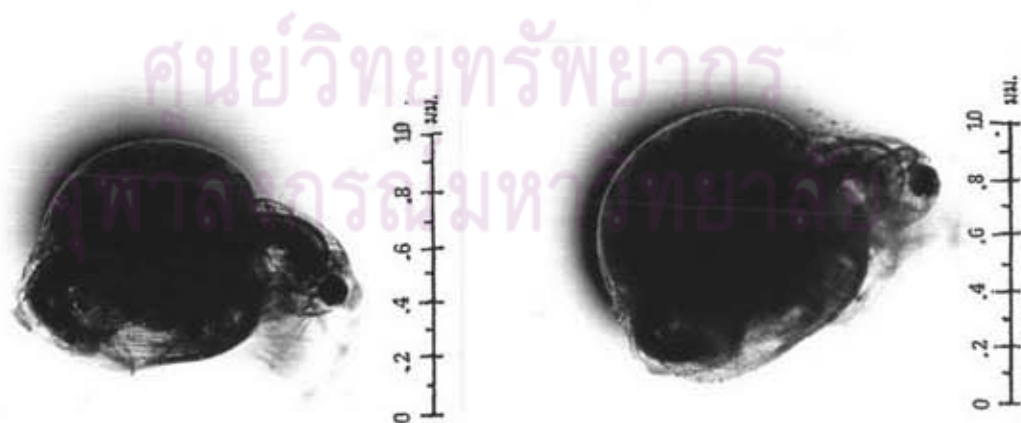
ผลจากการสังเกตไรแดงในกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมด้วยกล้องจุลทรรศน์ ไม่สามารถสังเกตเห็นลักษณะที่แตกต่างกันระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมที่ทุกระดับความเข้มข้นของสารคลอร์ไพริฟอสในแต่ละรุ่นได้ ดังรูปที่ 4.10 เมื่อวัดขนาดความยาวลำตัวของไรแดงหลังการเกิด parthenogenesis ครั้งแรก พบว่าไรแดงมีขนาดความยาวเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 1.29 - 1.32 มิลลิเมตร ดังตารางที่ 4.6 จากการสังเกต ไรแดงทั้งในกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองในแต่ละรุ่นจะมีการเติบโตขึ้นอย่างรวดเร็วหลังการเกิด parthenogenesis ครั้งแรก (อายุประมาณ 2 - 3 วัน) จนกระทั่งมีอายุประมาณ 5 - 6 วัน (หลังจากให้ลูกแล้วประมาณ 2 ครั้ง) หลังจากนั้นจะมีการเติบโตอย่างช้า ๆ สังเกตจากขนาดมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย โดยการวัดขนาดเมื่อเวลาผ่านไป 3 วัน และ 6 วัน



หลังจากการวัดครั้งแรก พบว่าไรแดงมีขนาดเฉลี่ย 1.47 - 1.53 มิลลิเมตร และ 1.57 - 1.64 มิลลิเมตร และยังพบว่าไรแดงมีการลอกคราบทุกครั้งที่มีการเกิด parthenogenesis จากตารางที่ 4.6 จะเห็นว่า ขนาดเฉลี่ยของไรแดงในสารละลายคลอริไพริฟอสที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมด้วยวิธี Duncan's multiple range test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ และเมื่อเปรียบเทียบขนาดเฉลี่ยของไรแดงที่ระดับความเข้มข้นเดียวกันในแต่ละรุ่นพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญเช่นเดียวกัน แสดงว่าสารเคมีกำจัดแมลงคลอริไพริฟอสที่ระดับความเข้มข้น 0.007 ไมโครกรัมต่อลิตร (1/10 48-h LC<sub>50</sub>), 0.012 ไมโครกรัมต่อลิตร (1/6 48-h LC<sub>50</sub>) และ 0.02 ไมโครกรัมต่อลิตร (1/4 48-h LC<sub>50</sub>) ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและขนาดของไรแดง

ตารางที่ 4.6 ผลของคลอริไพริฟอสต่อขนาดเฉลี่ยของไรแดงในแต่ละรุ่นหลังการเกิด parthenogenesis ครั้งแรก

ความเข้มข้น (µg/l)	ไรแดง (ตัว)	ขนาดเฉลี่ยของไรแดง (มิลลิเมตร)				
		F1	F2	F3	F4	F5
0	20	1.31±0.04	1.29±0.04	1.30±0.04	1.30±0.04	1.29±0.03
0.007	20	1.29±0.03	1.30±0.03	1.31±0.04	1.29±0.04	1.29±0.04
0.012	20	1.30±0.04	1.29±0.03	1.32±0.05	1.31±0.04	1.30±0.04
0.02	20	1.31±0.04	1.29±0.04	1.30±0.05	1.31±0.03	1.31±0.04



กลุ่มทดลอง

กลุ่มควบคุม

รูปที่ 4.10 ลักษณะของแม่ไรแดงในสารละลายคลอริไพริฟอส และกลุ่มควบคุม (4x10)

### 2.1.2 ผลต่อการสืบพันธุ์

จากการศึกษาพบว่าลูกไรแดงที่นำมาทดลอง ตั้งแต่รุ่นที่ 1 (F1) ถึงรุ่นที่ 5 (F5) จะมีการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศร้อยละ 100 ในทุกระดับความเข้มข้นของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม จากการสังเกต ไรแดงจะใช้เวลาในการเจริญเติบโตตั้งแต่ฟักตัวเป็น neonate จนเริ่มมีการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศครั้งแรกเมื่อมีอายุประมาณ 2 วัน (48 ชั่วโมง) และจะเริ่มให้ลูกครั้งแรกเมื่ออายุ 2 - 3 วัน (60 - 72 ชั่วโมง) เฉลี่ยวันละ 1 ครั้ง จนกระทั่งตาย เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 4.7 พบว่าจำนวนลูกเฉลี่ยของไรแดงในรุ่น F1 ที่ความเข้มข้นของคลอโรไพริฟอส 0.012 ไมโครกรัมต่อลิตร และ 0.02 ไมโครกรัมต่อลิตร มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนที่ความเข้มข้น 0.007 ไมโครกรัมต่อลิตร ไม่มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่าที่ระดับความเข้มข้นของคลอโรไพริฟอสสูงขึ้นมีผลทำให้จำนวนลูกเฉลี่ยของไรแดงลดลง ส่วนรุ่น F2 ถึง F5 พบว่าจำนวนลูกเฉลี่ยของไรแดงในกลุ่มทดลองทุกระดับความเข้มข้น มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับรุ่น F2 จำนวนลูกเฉลี่ยที่ความเข้มข้น 0.007 ไมโครกรัมต่อลิตร และ 0.012 ไมโครกรัมต่อลิตร ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่มีความแตกต่างจากจำนวนลูกเฉลี่ยที่ความเข้มข้น 0.02 ไมโครกรัมต่อลิตร อย่างมีนัยสำคัญ ในรุ่น F3 ไม่มีจำนวนลูกเฉลี่ยในกลุ่มทดลองที่ความเข้มข้นใดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับรุ่น F4 จำนวนลูกเฉลี่ยที่ระดับความเข้มข้น 0.007 ไมโครกรัมต่อลิตร มีค่าสูงกว่าจำนวนลูกเฉลี่ยที่ระดับความเข้มข้น 0.012 ไมโครกรัมต่อลิตร และ 0.02 ไมโครกรัมต่อลิตรอย่างมีนัยสำคัญ และจำนวนลูกเฉลี่ยในรุ่น F5 มีความสัมพันธ์ทางสถิติเช่นเดียวกับในรุ่น F4

เมื่อพิจารณาจำนวนลูกเฉลี่ยของไรแดงในรุ่น F1 ถึง F5 ของกลุ่มควบคุมพบว่า จำนวนลูกเฉลี่ยในรุ่น F1 มีค่าสูงที่สุดและมีความแตกต่างจากรุ่น F2 ถึง F5 อย่างมีนัยสำคัญ ส่วนในกลุ่มทดลองพบว่าจำนวนลูกเฉลี่ยของไรแดงในแต่ละรุ่น มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ทุกระดับความเข้มข้นของคลอโรไพริฟอส ยกเว้นที่ความเข้มข้น 0.007 ไมโครกรัมต่อลิตร พบว่าไรแดงรุ่น F4 และ F5 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ แต่มีแนวโน้มของจำนวนลูกเฉลี่ยลดลงซึ่งจะเห็นได้ว่าคลอโรไพริฟอสมีผลทำให้จำนวนลูกเฉลี่ยของไรแดงในรุ่น F1 ถึง F5 มีจำนวนลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม

ตารางที่ 4.7 ผลของคลอรีไฟรฟอสต่อจำนวนลูกเฉลี่ยของไรแดง ในแต่ละรุ่น

ความเข้มข้น ( $\mu\text{g/l}$ )	ไรแดง (ตัว)	จำนวนลูกเฉลี่ยของไรแดง 1 ตัว (ตัว)				
		F1	F2	F3	F4	F5
0	20	<sup>a</sup> 112.20 $\pm$ 10.43 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 102.60 $\pm$ 9.34 <sup>b</sup>	<sup>a</sup> 99.30 $\pm$ 11.23 <sup>b</sup>	<sup>a</sup> 100.10 $\pm$ 10.67 <sup>b</sup>	<sup>a</sup> 98.9 $\pm$ 10.40 <sup>b</sup>
0.007	20	<sup>ab</sup> 107.00 $\pm$ 9.73 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 92.30 $\pm$ 9.58 <sup>b</sup>	<sup>b</sup> 78.70 $\pm$ 10.04 <sup>c</sup>	<sup>b</sup> 74.85 $\pm$ 10.00 <sup>cd</sup>	<sup>b</sup> 71.60 $\pm$ 12.24 <sup>d</sup>
0.012	20	<sup>b</sup> 102.40 $\pm$ 9.44 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 88.20 $\pm$ 12.90 <sup>b</sup>	<sup>b</sup> 76.85 $\pm$ 10.76 <sup>c</sup>	<sup>c</sup> 64.35 $\pm$ 7.08 <sup>d</sup>	<sup>c</sup> 52.50 $\pm$ 7.87 <sup>e</sup>
0.02	20	<sup>c</sup> 92.80 $\pm$ 9.20 <sup>a</sup>	<sup>c</sup> 80.65 $\pm$ 11.81 <sup>b</sup>	<sup>b</sup> 72.20 $\pm$ 10.43 <sup>c</sup>	<sup>c</sup> 60.90 $\pm$ 7.85 <sup>d</sup>	<sup>c</sup> 47.35 $\pm$ 8.90 <sup>e</sup>

หมายเหตุ

ตัวอักษรมุมบนซ้ายต่างกันหมายถึง มีความแตกต่างกันในแนวตั้งที่ระดับนัยสำคัญ 0.05  
 ตัวอักษรมุมบนขวาต่างกันหมายถึง มีความแตกต่างกันในแนวนอนที่ระดับนัยสำคัญ 0.05  
 ตัวอักษร 2 ตัว เช่น ab หมายถึง ไม่มีความแตกต่างระหว่าง a และ b ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางที่ 4.8 ผลของคลอรีไฟรฟอสต่อครั้งเฉลี่ยการเกิด parthenogenesis ของไรแดง ในแต่ละรุ่น

ความเข้มข้น ( $\mu\text{g/l}$ )	ไรแดง (ตัว)	จำนวนครั้งเฉลี่ยการเกิด parthenogenesis ของไรแดง 1 ตัว				
		F1	F2	F3	F4	F5
0	20	<sup>a</sup> 9.05 $\pm$ 1.05 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 8.35 $\pm$ 0.87 <sup>b</sup>	<sup>a</sup> 8.30 $\pm$ 0.80 <sup>bc</sup>	<sup>a</sup> 8.10 $\pm$ 0.79 <sup>bc</sup>	<sup>a</sup> 8.05 $\pm$ 0.89 <sup>c</sup>
0.007	20	<sup>a</sup> 8.85 $\pm$ 0.81 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 8.20 $\pm$ 0.62 <sup>b</sup>	<sup>b</sup> 6.75 $\pm$ 0.85 <sup>c</sup>	<sup>b</sup> 6.45 $\pm$ 0.89 <sup>d</sup>	<sup>b</sup> 6.15 $\pm$ 0.93 <sup>e</sup>
0.012	20	<sup>a</sup> 8.70 $\pm$ 0.57 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 7.80 $\pm$ 0.70 <sup>b</sup>	<sup>b</sup> 6.80 $\pm$ 0.83 <sup>c</sup>	<sup>b</sup> 6.00 $\pm$ 0.69 <sup>d</sup>	<sup>b</sup> 5.35 $\pm$ 0.49 <sup>e</sup>
0.02	20	<sup>b</sup> 7.65 $\pm$ 0.67 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 7.05 $\pm$ 0.94 <sup>b</sup>	<sup>c</sup> 6.05 $\pm$ 0.89 <sup>c</sup>	<sup>c</sup> 5.25 $\pm$ 0.64 <sup>d</sup>	<sup>c</sup> 4.70 $\pm$ 0.88 <sup>e</sup>

หมายเหตุ

ตัวอักษรมุมบนซ้ายต่างกันหมายถึง มีความแตกต่างกันในแนวตั้งที่ระดับนัยสำคัญ 0.05  
 ตัวอักษรมุมบนขวาต่างกันหมายถึง มีความแตกต่างกันในแนวนอนที่ระดับนัยสำคัญ 0.05  
 ตัวอักษร 2 ตัว เช่น ab หมายถึง ไม่มีความแตกต่างระหว่าง a และ b ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05



สำหรับจำนวนครั้งเฉลี่ยของการเกิด parthenogenesis พบว่าที่ระดับความเข้มข้น 0.02 ไมโครกรัมต่อลิตร จำนวนครั้งเฉลี่ยของการเกิด parthenogenesis ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมในทุกส่วนของไรแดง สำหรับที่ความเข้มข้น 0.007 ไมโครกรัมต่อลิตร และ 0.012 ไมโครกรัมต่อลิตร จำนวนครั้งเฉลี่ยของการเกิด parthenogenesis ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมเฉพาะในรุ่นที่ F3, F4 และ F5 และเมื่อพิจารณาในรุ่น F1 ถึง F5 พบว่า จำนวนครั้งเฉลี่ยของการทำ parthenogenesis ในรุ่น F1 ถึง F5 ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมในทุกระดับความเข้มข้นของสารละลายคลอริไพริฟอส (ตารางที่ 4.8)

### 2.1.3 ผลต่ออายุ

อายุเฉลี่ยที่ระดับความเข้มข้นของคลอริไพริฟอส 0.02 ไมโครกรัมต่อลิตร มีค่าน้อยกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติในทุกส่วนของไรแดง และมีอายุเฉลี่ยน้อยกว่าที่ระดับความเข้มข้น 0.007 ไมโครกรัมต่อลิตร และ 0.012 ไมโครกรัมต่อลิตร ในรุ่น F3 ถึง F5 สำหรับไรแดงในรุ่น F1 และ F2 ที่ความเข้มข้น 0.007 ไมโครกรัมต่อลิตร พบว่าอายุเฉลี่ยมีค่าใกล้เคียงกับกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อพิจารณาอายุเฉลี่ยของไรแดงในรุ่น F1 ถึง F5 ของกลุ่มควบคุมพบว่า ในรุ่น F1 มีอายุเฉลี่ยมากที่สุดและแตกต่างจากรุ่น F2, F3, F4 และ F5 อย่างมีนัยสำคัญ ส่วนในกลุ่มทดลองพบว่าที่ระดับความเข้มข้น 0.012 ไมโครกรัมต่อลิตร และ 0.02 ไมโครกรัมต่อลิตร ไรแดงมีอายุเฉลี่ยน้อยลงจากรุ่น F1 จนถึง รุ่น F5 อย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงในตารางที่ 4.9 จะเห็นได้ว่าคลอริไพริฟอสนอกจากจะมีผลทำให้จำนวนลูกและจำนวนครั้งในการเกิด parthenogenesis ลดน้อยลงแล้ว ยังเป็นผลให้อายุขัยของไรแดงสั้นลงอีกด้วย

ตารางที่ 4.9 ผลของคลอริไพริฟอสต่ออายุเฉลี่ยของไรแดง ในแต่ละรุ่น

ความเข้มข้น (µg/l)	ไรแดง (ตัว)	อายุเฉลี่ยของไรแดง 1 ตัว (วัน)				
		F1	F2	F3	F4	F5
0	20	<sup>a</sup> 11.40±1.27 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 10.70±0.86 <sup>b</sup>	<sup>a</sup> 10.60±0.59 <sup>b</sup>	<sup>a</sup> 10.80±0.69 <sup>b</sup>	<sup>a</sup> 10.65±0.74 <sup>b</sup>
0.007	20	<sup>a</sup> 10.95±0.88 <sup>a</sup>	<sup>ab</sup> 10.35±0.67 <sup>b</sup>	<sup>b</sup> 9.75±0.72 <sup>b</sup>	<sup>b</sup> 9.30±0.66 <sup>bc</sup>	<sup>b</sup> 9.10±0.79 <sup>c</sup>
0.012	20	<sup>ab</sup> 10.80±0.83 <sup>a</sup>	<sup>ab</sup> 10.15±0.81 <sup>b</sup>	<sup>b</sup> 9.65±0.93 <sup>c</sup>	<sup>b</sup> 8.90±0.55 <sup>d</sup>	<sup>c</sup> 7.90±0.79 <sup>e</sup>
0.02	20	<sup>b</sup> 10.30±0.66 <sup>a</sup>	<sup>c</sup> 9.65±0.81 <sup>b</sup>	<sup>c</sup> 8.15±0.81 <sup>c</sup>	<sup>c</sup> 7.60±0.88 <sup>d</sup>	<sup>d</sup> 6.95±0.68 <sup>e</sup>

### หมายเหตุ

ตัวอักษรหมบบนซ้ายต่างกันหมายถึง มีความแตกต่างกันในแนวตั้งที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

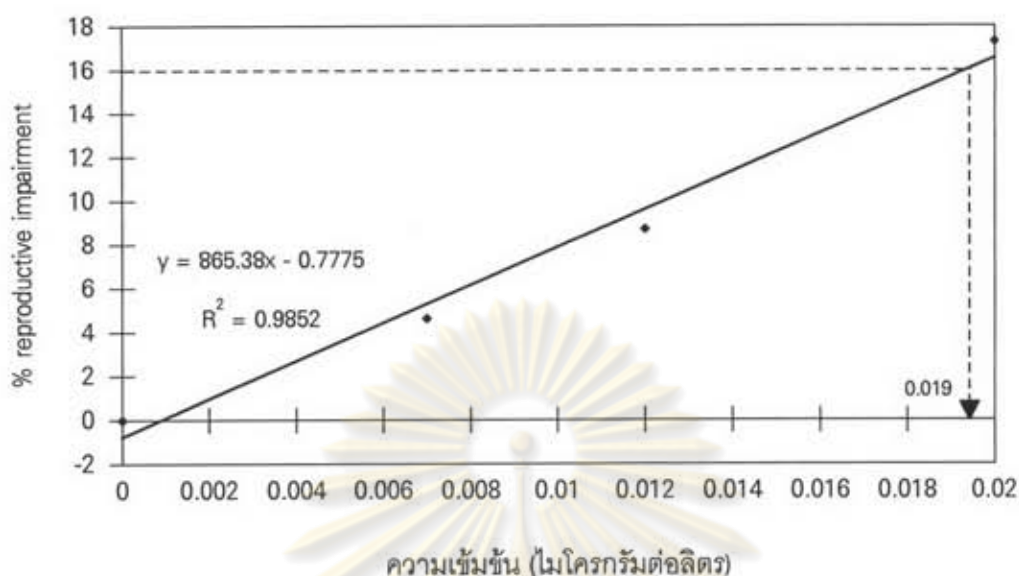
ตัวอักษรหมบบนขวาต่างกันหมายถึง มีความแตกต่างกันในแนวนอนที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตัวอักษร 2 ตัว เช่น ab หมายถึง ไม่มีความแตกต่างระหว่าง a และ b ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ผลการศึกษาพิษรองเฉียบพลันครั้งนี้ สามารถหาระดับความเข้มข้นสูงสุดของคลอร์ไพริฟอสที่ยอมให้มีได้ในแหล่งน้ำที่ไรแดงอาศัยอยู่โดยไม่เป็นอันตราย (MATC) ตามวิธีการของ Biesinger และ Christensen (1972) โดยนำจำนวนลูกเฉลี่ยของไรแดงในรุ่น F1 ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆของคลอร์ไพริฟอสมาวิเคราะห์หาระดับความเข้มข้นที่ทำให้จำนวนลูกไรแดงลดลงร้อยละ 16 เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม (16 % reproductive impairment) ดังแสดงในตารางที่ 4.10 ซึ่งค่า MATC ของคลอร์ไพริฟอสมีค่าเท่ากับ 0.019 ไมโครกรัมต่อลิตร ดังรูปที่ 4.11

ตารางที่ 4.10 ผลของคลอร์ไพริฟอสต่อจำนวนลูกเฉลี่ยของไรแดงรุ่น F1 และเปอร์เซ็นต์ของจำนวนลูกไรแดงที่ลดลงเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม

ความเข้มข้น (ไมโครกรัมต่อลิตร)	ไรแดง (ตัว)	จำนวนลูกเฉลี่ยของ ไรแดงรุ่น F1	%Reproductive Impairment
0	20	112.2	
0.007	20	107.0	4.63
0.012	20	102.4	8.73
0.02	20	92.8	17.29



รูปที่ 4.11 แสดงกราฟเพื่อหาความเข้มข้นของคลอโรไฟลล์ที่ยอมให้มีได้ในแหล่งน้ำ (MATC)

## 2.2 พืชรองเจริญพลับของคาร์บาริลต่อไรแดง

### 2.2.1 ผลต่อขนาดรูปร่างและการเติบโต

สังเกตไรแดงจากกล้องจุลทรรศน์ ไม่พบความแตกต่างของรูปร่างลักษณะระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ที่ทุกระดับความเข้มข้นของคาร์บาริลในแต่ละรุ่น ดังรูปที่ 4.12 เมื่อวัดขนาดความยาวลำตัวของไรแดงพบว่ามีความเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 1.3 - 1.37 มิลลิเมตร ดังตารางที่ 4.11 จากการสังเกตไรแดงทั้งในกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมจะมีการเติบโตขึ้นอย่างรวดเร็วหลังจากเกิด parthenogenesis ครั้งแรก (อายุประมาณ 2 - 3 วัน) จนกระทั่งมีอายุประมาณ 5 - 6 วัน (หลังจากให้ลูกแล้วประมาณ 2 ครั้ง) หลังจากนั้นจะมีการเติบโตอย่างช้า ๆ สังเกตจากขนาดมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยโดยเพิ่มขึ้นจากการวัดครั้งแรกเมื่อเวลาผ่านไป 3 วัน และ 6 วัน มีขนาดเฉลี่ยเป็น 1.57 - 1.64 มิลลิเมตร และ 1.68 - 1.72 มิลลิเมตร พบว่าขนาดเฉลี่ยของไรแดงในสารละลายคาร์บาริลที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในแต่ละรุ่นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อพิจารณาขนาดเฉลี่ยในแต่ละรุ่นที่ระดับความเข้มข้นเดียวกันพบว่า ขนาดเฉลี่ยของไรแดงในกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองทุกระดับความเข้มข้นจะมีขนาดเพิ่มขึ้นในรุ่น F4 และ F5 อย่างมีนัยสำคัญ



ตารางที่ 4.11 ผลของคาร์บาริลต่อขนาดเฉลี่ยของไรแดงในแต่ละรุ่นหลังการเกิด parthenogenesis ครั้งแรก

ความเข้มข้น ( $\mu\text{g/l}$ )	ไรแดง (ตัว)	ขนาดของไรแดง 1 ตัว (มิลลิเมตร)				
		F1	F2	F3	F4	F5
0	20	$1.32 \pm 0.04^b$	$1.32 \pm 0.04^{ab}$	$1.31 \pm 0.06^a$	$1.34 \pm 0.04^{bc}$	$1.36 \pm 0.05^c$
1.8	20	$1.30 \pm 0.04^a$	$1.33 \pm 0.04^a$	$1.31 \pm 0.05^a$	$1.36 \pm 0.04^b$	$1.37 \pm 0.04^b$
3.0	20	$1.31 \pm 0.04^a$	$1.34 \pm 0.03^b$	$1.33 \pm 0.05^{ab}$	$1.34 \pm 0.03^b$	$1.35 \pm 0.04^b$
4.5	20	$1.32 \pm 0.04^{ab}$	$1.33 \pm 0.04^b$	$1.30 \pm 0.04^a$	$1.34 \pm 0.04^b$	$1.35 \pm 0.04^b$

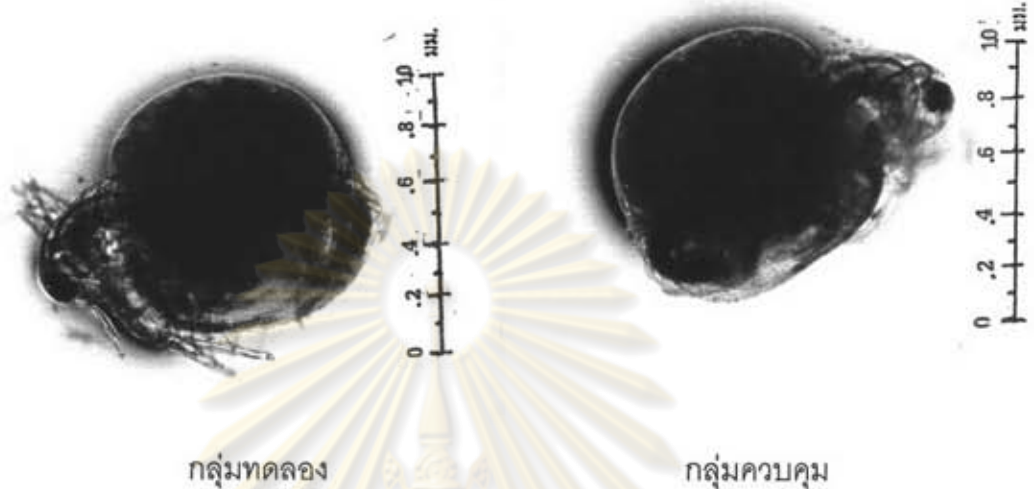
หมายเหตุ

ตัวอักษรมุมบนขวาต่างกันหมายถึง มีความแตกต่างกันในแนวนอนที่ระดับนัยสำคัญ 0.05  
ตัวอักษร 2 ตัว เช่น ab หมายถึง ไม่มีความแตกต่างระหว่าง a และ b ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

### 2.2.2 ผลต่อการสืบพันธุ์

พบว่าไรแดงรุ่น F1 ถึง F5 ที่ระดับความเข้มข้นของคาร์บาริล 1.8 ไมโครกรัมต่อลิตร ( $1/10$  48-h  $LC_{50}$ ), 3.0 ไมโครกรัมต่อลิตร ( $1/6$  48-h  $LC_{50}$ ) และ 4.5 ไมโครกรัมต่อลิตร ( $1/4$  48-h  $LC_{50}$ ) มีการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศร้อยละ 100 ที่ทุกระดับความเข้มข้นของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม จากการสังเกตไรแดงมีระยะเวลาในการเจริญเติบโตเริ่มจากฟักออกมาเป็น neonate จนมีการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศครั้งแรกประมาณ 2 วัน และออกลูกครั้งแรก 2 - 3 วัน เฉลี่ยวันละ 1 ครั้งจนกระทั่งตาย โดยจะมีการลอกคราบทุกครั้งที่มีการเกิด parthenogenesis พิจารณาจากตารางที่ 4.12 พบว่า จำนวนลูกเฉลี่ยที่ระดับความเข้มข้น 1.8 ไมโครกรัมต่อลิตร มีค่าไม่แตกต่างกับจำนวนลูกเฉลี่ยในกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกรุ่นของไรแดง เป็นเพราะระดับความเข้มข้นค่อนข้างต่ำจึงไม่มีผลกระทบต่อ การสืบพันธุ์ของไรแดง ส่วนจำนวนลูกเฉลี่ยของไรแดงที่ระดับความเข้มข้น 4.5 ไมโครกรัมต่อลิตร มีจำนวนลูกเฉลี่ยลดลงเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมและระดับความเข้มข้น 1.8 ไมโครกรัมต่อลิตร อย่างมีนัยสำคัญในทุกรุ่น ซึ่งระดับความเข้มข้น 4.5 ไมโครกรัมต่อลิตร เป็นระดับความเข้มข้นสูงสุดในกลุ่มทดลองจึงมีผลกระทบต่อ การสืบพันธุ์ของไรแดงทำให้จำนวนลูกลดลงอย่างเห็นได้ชัด สำหรับจำนวนลูกเฉลี่ยของไรแดงในรุ่น F1 ถึง F5 ไม่มี

ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในทุกระดับความเข้มข้นของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม แต่พบว่าจำนวนลูกเจี๊ยบมีแนวโน้มลดลงในรุ่น F5



รูปที่ 4.12 ลักษณะของแม่ไรแดงในสารละลายคาร์บาริล และกลุ่มควบคุม (40x)

ตารางที่ 4.12 ผลของคาร์บาริลต่อจำนวนลูกเจี๊ยบของไรแดง ในแต่ละรุ่น

ความเข้มข้น ( $\mu\text{g/l}$ )	ไรแดง (ตัว)	จำนวนลูกเจี๊ยบของไรแดง 1 ตัว (ตัว)				
		F1	F2	F3	F4	F5
0	20	<sup>a</sup> 105.10 $\pm$ 8.8	<sup>a</sup> 104.00 $\pm$ 9.77	<sup>a</sup> 101.30 $\pm$ 8.80	<sup>a</sup> 102.40 $\pm$ 9.52	<sup>a</sup> 100.10 $\pm$ 8.25
1.8	20	<sup>b</sup> 96.75 $\pm$ 8.73	<sup>a</sup> 102.20 $\pm$ 9.20	<sup>a</sup> 101.10 $\pm$ 9.42	<sup>b</sup> 99.45 $\pm$ 9.34	<sup>ab</sup> 97.15 $\pm$ 10.10
3.0	20	<sup>bc</sup> 92.25 $\pm$ 9.55	<sup>b</sup> 90.70 $\pm$ 9.97	<sup>a</sup> 96.40 $\pm$ 7.86	<sup>bc</sup> 95.25 $\pm$ 9.56	<sup>b</sup> 93.70 $\pm$ 10.04
4.5	20	<sup>c</sup> 87.55 $\pm$ 9.92	<sup>c</sup> 84.35 $\pm$ 10.06	<sup>b</sup> 89.65 $\pm$ 8.66	<sup>c</sup> 90.80 $\pm$ 9.47	<sup>c</sup> 85.60 $\pm$ 9.13

หมายเหตุ

ตัวอักษรมุมบนซ้ายต่างกันหมายถึง มีความแตกต่างกันในแนวตั้งที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตัวอักษร 2 ตัว เช่น ab หมายถึง ไม่มีความแตกต่างระหว่าง a และ b ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางที่ 4.13 ผลของคาร์บาริลต่อจำนวนครั้งเฉลี่ยการเกิด parthenogenesis ของไรแดง ในแต่ละรุ่น

ความเข้มข้น ( $\mu\text{g/l}$ )	ไรแดง (ตัว)	จำนวนครั้งเฉลี่ยการเกิด parthenogenesis ของไรแดง 1 ตัว				
		F1	F2	F3	F4	F5
0	20	<sup>a</sup> 8.85 $\pm$ 0.74	<sup>a</sup> 8.75 $\pm$ 0.97	<sup>a</sup> 8.75 $\pm$ 0.78	<sup>a</sup> 8.55 $\pm$ 0.82	<sup>a</sup> 8.50 $\pm$ 0.89
1.8	20	<sup>b</sup> 7.70 $\pm$ 0.66	<sup>b</sup> 8.15 $\pm$ 0.93	<sup>a</sup> 8.25 $\pm$ 0.85	<sup>b</sup> 7.75 $\pm$ 0.85	<sup>b</sup> 7.80 $\pm$ 0.77
3.0	20	<sup>c</sup> 6.90 $\pm$ 0.72	<sup>c</sup> 6.80 $\pm$ 0.89	<sup>b</sup> 7.30 $\pm$ 0.66	<sup>c</sup> 7.25 $\pm$ 0.71	<sup>bc</sup> 7.15 $\pm$ 0.67
4.5	20	<sup>c</sup> 6.85 $\pm$ 0.93	<sup>c</sup> 6.75 $\pm$ 0.91	<sup>b</sup> 6.95 $\pm$ 0.68	<sup>c</sup> 6.95 $\pm$ 0.82	<sup>c</sup> 6.60 $\pm$ 0.88

หมายเหตุ

ตัวอักษรมุมบนซ้ายต่างกันหมายถึง มีความแตกต่างกันในแนวตั้งที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตัวอักษร 2 ตัว เช่น ab หมายถึง ไม่มีความแตกต่างระหว่าง a และ b ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

พิจารณาจำนวนครั้งเฉลี่ยในการเกิด parthenogenesis ในแต่ละรุ่นของไรแดงพบว่า มีจำนวนครั้งเฉลี่ยน้อยกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญที่ทุกระดับความเข้มข้นของสารละลายคาร์บาริล และที่ระดับความเข้มข้น 3.0 ไมโครกรัมต่อลิตร และ 4.5 ไมโครกรัมต่อลิตร มีจำนวนครั้งเฉลี่ยในการเกิด parthenogenesis แตกต่างจากที่ระดับความเข้มข้น 1.8 ไมโครกรัมต่อลิตร อย่างมีนัยสำคัญ แต่ในระหว่างรุ่น F1 ถึง F5 ไม่มีความแตกต่างของจำนวนครั้งเฉลี่ยในการเกิด parthenogenesis อย่างมีนัยสำคัญในทุกระดับความเข้มข้นของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ดังแสดงใน ตารางที่ 4.13

### 2.2.3 ผลต่ออายุ

พบว่าอายุเฉลี่ยของไรแดงในแต่ละรุ่นที่ระดับความเข้มข้น 3.0 ไมโครกรัมต่อลิตร และ 4.5 ไมโครกรัมต่อลิตร มีค่าน้อยกว่ากลุ่มควบคุมและที่ระดับความเข้มข้น 1.8 ไมโครกรัมต่อลิตร อย่างมีนัยสำคัญ ส่วนที่ระดับความเข้มข้น 1.8 ไมโครกรัมต่อลิตร มีอายุเฉลี่ยแตกต่างจากกลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญเฉพาะในรุ่น F1 และ F4 เท่านั้น เมื่อพิจารณาอายุเฉลี่ยของไรแดงในรุ่น F1 ถึง F5 พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกระดับความเข้มข้นของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม (ตารางที่ 4.14)



ตารางที่ 4.14 ผลของคาร์บาริลต่ออายุเฉลี่ยของไรแดง ในแต่ละรุ่น

ความเข้มข้น ( $\mu\text{g/l}$ )	ไรแดง (ตัว)	อายุเฉลี่ยของไรแดง 1 ตัว (วัน)				
		F1	F2	F3	F4	F5
0	20	<sup>a</sup> 11.30 $\pm$ 0.8	<sup>a</sup> 11.20 $\pm$ 1.00	<sup>a</sup> 11.25 $\pm$ 1.07	<sup>a</sup> 10.95 $\pm$ 0.90	<sup>a</sup> 10.90 $\pm$ 0.79
1.8	20	<sup>b</sup> 10.30 $\pm$ 0.86	<sup>a</sup> 10.75 $\pm$ 0.97	<sup>a</sup> 10.75 $\pm$ 0.91	<sup>b</sup> 10.25 $\pm$ 0.97	<sup>a</sup> 10.60 $\pm$ 0.88
3.0	20	<sup>c</sup> 9.70 $\pm$ 0.86	<sup>b</sup> 9.65 $\pm$ 0.81	<sup>b</sup> 10.10 $\pm$ 0.85	<sup>bc</sup> 9.70 $\pm$ 0.98	<sup>b</sup> 10.05 $\pm$ 0.76
4.5	20	<sup>c</sup> 9.65 $\pm$ 1.04	<sup>b</sup> 9.55 $\pm$ 0.90	<sup>c</sup> 9.45 $\pm$ 0.68	<sup>c</sup> 9.55 $\pm$ 0.94	<sup>c</sup> 9.15 $\pm$ 0.81

หมายเหตุ

ตัวอักษรหมบนซ้ายต่างกันหมายถึง มีความแตกต่างกันในแนวตั้งที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

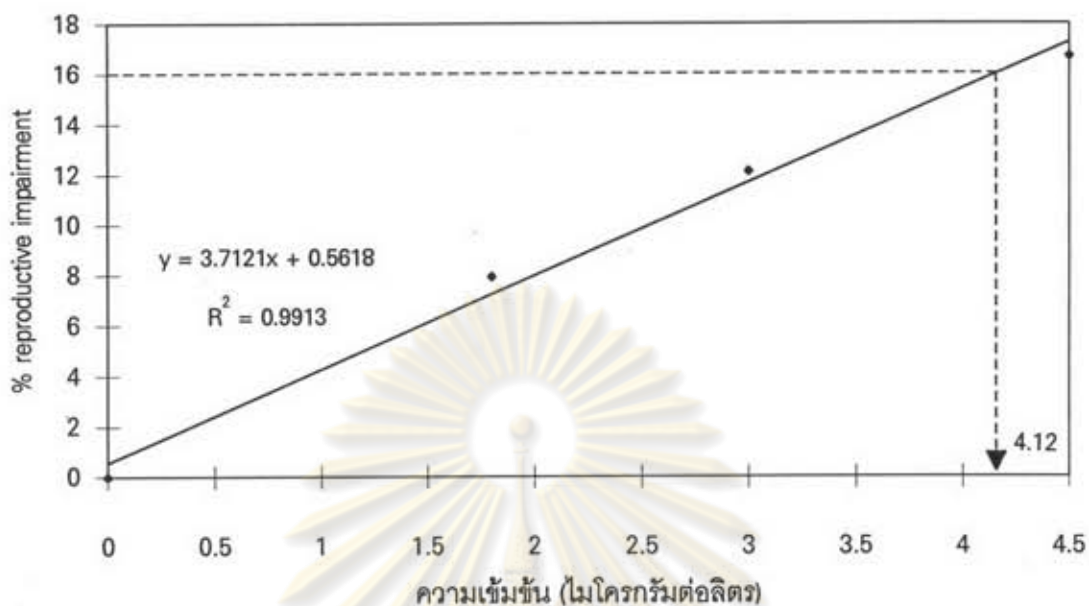
ตัวอักษร 2 ตัว เช่น ab หมายถึง ไม่มีความแตกต่างระหว่าง a และ b ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จากผลการทดลองข้างต้น เมื่อนำจำนวนลูกเฉลี่ยของไรแดงในรุ่น F1 ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆของคาร์บาริลมาวิเคราะห์หาระดับความเข้มข้นที่ทำให้จำนวนลูกไรแดงลดลงร้อยละ 16 เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม (ตารางที่ 4.15 ) ซึ่งเป็นระดับความเข้มข้นสูงสุดของคาร์บาริลที่ยอมให้มีได้ในสภาพแวดล้อมที่ไรแดงอาศัยอยู่โดยไม่เป็นอันตราย (MATC) จากรูปที่ 4.13 จะได้ค่า MATC ของคาร์บาริลต่อไรแดงเท่ากับ 4.12 ไมโครกรัมต่อลิตร

ตารางที่ 4.15 ผลของคาร์บาริลต่อจำนวนลูกเฉลี่ยของไรแดงรุ่น F1 และเปอร์เซ็นต์ของ

จำนวนลูกไรแดงที่ลดลงเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม

ความเข้มข้น (ไมโครกรัมต่อลิตร)	ไรแดง (ตัว)	จำนวนลูกเฉลี่ยของ ไรแดงรุ่น F1	%Reproductive Impairment
0	20	105.10	
1.8	20	96.75	7.94
3.0	20	92.25	12.13
4.5	20	87.55	16.70



รูปที่ 4.13 แสดงกราฟเพื่อหาความเข้มข้นของคาร์บาไรลที่ยอมให้มีได้ในแหล่งน้ำ (MATC)

## 2.3 พิษรองเฉียบพลันของอีโรเฟนพรีออกซ์ต่อไรแดง

### 2.3.1 ผลต่อขนาดรูปร่างและการเติบโต

ผลจากการสังเกตรไแดงด้วยกล้องจุลทรรศน์ ไม่พบความแตกต่างของลักษณะรูปร่างระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมที่ทุกระดับความเข้มข้นของอีโรเฟนพรีออกซ์ในแต่ละรุ่น ดังรูปที่ 4.14 เมื่อวัดความยาวขนาดลำตัวของไรแดงหลังจากเกิด parthenogenesis ครั้งแรก พบว่ามีขนาดเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 1.24 - 1.27 มิลลิเมตร ดังตารางที่ 4.16 จากการสังเกตรไแดงทั้งในกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมจะมีการเติบโตขึ้นอย่างรวดเร็วหลังจากเกิด parthenogenesis ครั้งแรก (อายุประมาณ 2 - 3 วัน) จนกระทั่งมีอายุประมาณ 5 - 6 วัน (หลังจากให้ลูกแล้วประมาณ 2 ครั้ง) หลังจากนั้นจะมีการเติบโตอย่างช้า ๆ สังเกตจากขนาดมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย โดยวัดขนาดเมื่อเวลาผ่านไป 3 วัน และ 6 วัน จากการวัดครั้งแรกมีค่าเฉลี่ย 1.45 - 1.54 มิลลิเมตร และ 1.55 - 1.63 มิลลิเมตร ขนาดเฉลี่ยของไรแดงในสารละลายอีโรเฟนพรีออกซ์ที่ระดับความเข้มข้นของกลุ่ม

ทดลองและกลุ่มควบคุมในแต่ละรุ่นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และพบว่าขนาดเฉลี่ยของไรแดงในระหว่างรุ่น F1 ถึง F5 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกัน

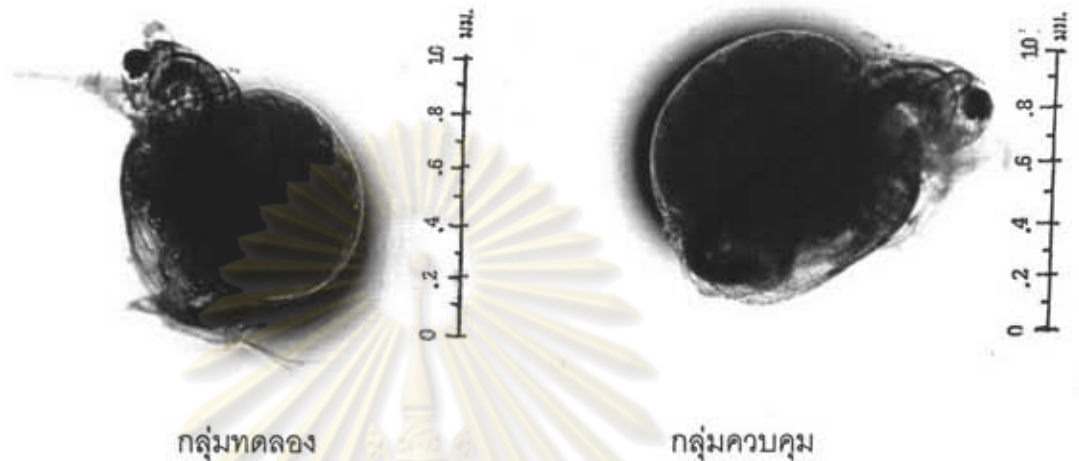
ตารางที่ 4.16 ผลของอีโทเฟนพริ็อกซ์ต่อขนาดเฉลี่ยของไรแดงในแต่ละรุ่นหลังการเกิด parthenogenesis ครั้งแรก

ความเข้มข้น ( $\mu\text{g/l}$ )	ไรแดง (ตัว)	ขนาดของไรแดง 1 ตัว (มิลลิเมตร)				
		F1	F2	F3	F4	F5
0	20	$1.27 \pm 0.03$	$1.27 \pm 0.05$	$1.26 \pm 0.03$	$1.27 \pm 0.03$	$1.27 \pm 0.04$
0.8	20	$1.26 \pm 0.05$	$1.27 \pm 0.05$	$1.26 \pm 0.05$	$1.27 \pm 0.05$	$1.25 \pm 0.04$
1.3	20	$1.24 \pm 0.04$	$1.25 \pm 0.05$	$1.25 \pm 0.05$	$1.25 \pm 0.05$	$1.25 \pm 0.05$
2.0	20	$1.24 \pm 0.05$	$1.25 \pm 0.04$	$1.25 \pm 0.04$	$1.25 \pm 0.04$	$1.25 \pm 0.04$

### 2.3.2 ผลต่อการสืบพันธุ์

จากการสังเกต ไรแดงมีระยะเวลาในการเจริญเติบโตเริ่มจากฟักออกมาเป็น neonate จนมีการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศครั้งแรกประมาณ 2 วัน และออกลูกครั้งแรก 2 - 3 วัน เฉลี่ยวันละ 1 ครั้งจนกระทั่งตาย โดยจะมีการลอกคราบทุกครั้งที่มีการเกิด parthenogenesis จากตารางที่ 4.17 พบว่าจำนวนลูกเฉลี่ยในกลุ่มควบคุมมีค่ามากกว่าจำนวนลูกของกลุ่มทดลองที่ระดับความเข้มข้นของอีโทเฟนพริ็อกซ์ 0.8 ไมโครกรัมต่อลิตร ( $1/10 \text{ LC}_{50}$ ), 1.3 ไมโครกรัมต่อลิตร ( $1/6 \text{ LC}_{50}$ ) และ 2.0 ไมโครกรัมต่อลิตร ( $1/4 \text{ LC}_{50}$ ) ในทุกรุ่นของไรแดงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และที่ระดับความเข้มข้น 0.8 ไมโครกรัมต่อลิตร ในรุ่น F1 ถึง F5 มีจำนวนลูกเฉลี่ยมากกว่าที่ระดับความเข้มข้น 2.0 ไมโครกรัมต่อลิตร อย่างมีนัยสำคัญ ส่วนที่ระดับความเข้มข้น 1.3 ไมโครกรัมต่อลิตร และ 0.8 ไมโครกรัมต่อลิตร พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในทุกรุ่นของไรแดง แต่จะเริ่มแตกต่างกับที่ระดับความเข้มข้น 2.0 ไมโครกรัมต่อลิตร ในรุ่น F3 F4 และ F5 เมื่อพิจารณาจำนวนลูกเฉลี่ยของไรแดงในแต่ละรุ่นที่ระดับความเข้มข้นของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมแล้ว พบว่าไม่มีความแตกต่างของจำนวนลูกเฉลี่ยในรุ่น F1 ถึง F5 อย่างมีนัยสำคัญ





รูปที่ 4.14 ลักษณะของแม่ไรแดงในสารละลายอีโรเฟนพริกซ์ และกลุ่มควบคุม (40X)

ตารางที่ 4.17 ผลของอีโรเฟนพริกซ์ต่อจำนวนลูกเฉลี่ยของไรแดง ในแต่ละรุ่น

ความเข้มข้น ( $\mu\text{g/l}$ )	ไรแดง (ตัว)	จำนวนลูกเฉลี่ยของไรแดง 1 ตัว (ตัว)				
		F1	F2	F3	F4	F5
0	20	<sup>a</sup> 96.75 $\pm$ 10.71	<sup>a</sup> 97.05 $\pm$ 10.67	<sup>a</sup> 95.80 $\pm$ 9.89	<sup>a</sup> 94.50 $\pm$ 10.06	<sup>a</sup> 96.10 $\pm$ 10.81
0.8	20	<sup>b</sup> 87.40 $\pm$ 10.60	<sup>b</sup> 86.25 $\pm$ 10.31	<sup>b</sup> 86.60 $\pm$ 8.20	<sup>b</sup> 85.30 $\pm$ 10.02	<sup>b</sup> 84.50 $\pm$ 8.50
1.3	20	<sup>bc</sup> 82.05 $\pm$ 9.74	<sup>bc</sup> 81.35 $\pm$ 9.13	<sup>b</sup> 85.20 $\pm$ 6.08	<sup>b</sup> 84.60 $\pm$ 9.22	<sup>b</sup> 82.60 $\pm$ 10.83
2.0	20	<sup>c</sup> 76.75 $\pm$ 9.55	<sup>c</sup> 75.75 $\pm$ 9.22	<sup>c</sup> 78.70 $\pm$ 9.72	<sup>c</sup> 77.25 $\pm$ 10.58	<sup>c</sup> 75.50 $\pm$ 10.82

หมายเหตุ

ตัวอักษรหมบนซ้ายต่างกันหมายถึง มีความแตกต่างกันในแนวตั้งที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตัวอักษร 2 ตัว เช่น ab หมายถึง ไม่มีความแตกต่างระหว่าง a และ b ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

สำหรับจำนวนครั้งในการเกิด parthenogenesis พบว่าไรแดงรุ่น F3, F4 และ F5 มีจำนวนครั้งในการเกิด parthenogenesis ในกลุ่มควบคุมมากกว่าที่ระดับความเข้มข้นทั้งสามของอีโรเฟนพริกซ์ อย่างมีนัยสำคัญ ส่วนในรุ่น F1 ที่ระดับความเข้มข้น 2.0 ไมโครกรัมต่อลิตร พบว่ามีจำนวนครั้งในการเกิด parthenogenesis น้อยกว่าที่ระดับความเข้มข้น 1.3 ไมโครกรัมต่อลิตร และ 0.8 ไมโครกรัมต่อลิตร และกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อพิจารณาจำนวนครั้งในการเกิด parthenogenesis ระหว่างรุ่น F1 ถึง F5 ของกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองทุกระดับความเข้มข้น พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.18)

ตารางที่ 4.18 ผลของอีโรเฟนพริกซ์ต่อจำนวนครั้งเฉลี่ยการเกิด parthenogenesis ของไรแดงในแต่ละรุ่น

ความเข้มข้น ( $\mu\text{g/l}$ )	ไรแดง (ตัว)	จำนวนครั้งเฉลี่ยการเกิด parthenogenesis ของไรแดง 1 ตัว				
		F1	F2	F3	F4	F5
0	20	<sup>a</sup> 7.20 $\pm$ 0.95	<sup>a</sup> 7.25 $\pm$ 0.91	<sup>a</sup> 7.15 $\pm$ 0.87	<sup>a</sup> 7.30 $\pm$ 0.80	<sup>a</sup> 7.20 $\pm$ 0.69
0.8	20	<sup>a</sup> 7.05 $\pm$ 0.89	<sup>ab</sup> 6.80 $\pm$ 0.89	<sup>b</sup> 6.65 $\pm$ 0.67	<sup>b</sup> 6.75 $\pm$ 0.64	<sup>b</sup> 6.55 $\pm$ 0.68
1.3	20	<sup>a</sup> 7.00 $\pm$ 0.65	<sup>ab</sup> 6.90 $\pm$ 0.72	<sup>b</sup> 6.50 $\pm$ 0.69	<sup>b</sup> 6.70 $\pm$ 0.80	<sup>b</sup> 6.55 $\pm$ 0.76
2.0	20	<sup>b</sup> 6.25 $\pm$ 0.91	<sup>b</sup> 6.40 $\pm$ 0.88	<sup>b</sup> 6.15 $\pm$ 0.74	<sup>c</sup> 6.20 $\pm$ 0.62	<sup>b</sup> 6.35 $\pm$ 0.59

#### หมายเหตุ

ตัวอักษรมุมบนซ้ายต่างกันหมายถึง มีความแตกต่างกันในแนวตั้งที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตัวอักษร 2 ตัว เช่น ab หมายถึง ไม่มีความแตกต่างระหว่าง a และ b ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

#### 2.3.3 ผลต่ออายุ

พบว่าอายุเฉลี่ยที่ระดับความเข้มข้น 2.0 ไมโครกรัมต่อลิตรมีค่าน้อยกว่ากลุ่มควบคุมในทุกรุ่นของไรแดงอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งเห็นความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมได้อย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับอายุเฉลี่ยที่ระดับความเข้มข้น 1.3 ไมโครกรัมต่อลิตร และ 0.8 ไมโครกรัมต่อลิตร อาจเนื่องจากความเข้มข้น 2.0 ไมโครกรัมต่อลิตรเป็นระดับความเข้มข้นสูงสุดจึงมีผลทำให้อายุของไรแดงลดลง

อย่างไรก็ตามไม่พบความแตกต่างของอายุเฉลี่ยในระหว่างรุ่น F1 ถึง F5 ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ และกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.19)

ตารางที่ 4.19 ผลของอีโรเฟนพริออกซ์ต่ออายุเฉลี่ยของไรแดง ในแต่ละรุ่น

ความเข้มข้น ( $\mu\text{g/l}$ )	ไรแดง (ตัว)	อายุเฉลี่ยของไรแดง 1 ตัว (วัน)				
		F1	F2	F3	F4	F5
0	20	<sup>a</sup> 10.25 $\pm$ 0.91	<sup>a</sup> 10.35 $\pm$ 0.93	<sup>a</sup> 10.15 $\pm$ 0.93	<sup>a</sup> 10.15 $\pm$ 0.67	<sup>a</sup> 10.25 $\pm$ 0.71
0.8	20	<sup>a</sup> 10.10 $\pm$ 0.79	<sup>ab</sup> 10.00 $\pm$ 0.86	<sup>ab</sup> 9.90 $\pm$ 0.79	<sup>ab</sup> 9.80 $\pm$ 0.95	<sup>ab</sup> 9.85 $\pm$ 0.67
1.3	20	<sup>ab</sup> 9.75 $\pm$ 0.78	<sup>b</sup> 9.70 $\pm$ 0.80	<sup>ab</sup> 9.65 $\pm$ 0.81	<sup>ab</sup> 9.75 $\pm$ 0.78	<sup>b</sup> 9.50 $\pm$ 0.83
2.0	20	<sup>b</sup> 9.45 $\pm$ 0.76	<sup>b</sup> 9.45 $\pm$ 0.89	<sup>b</sup> 9.55 $\pm$ 0.51	<sup>b</sup> 9.50 $\pm$ 0.76	<sup>b</sup> 9.40 $\pm$ 0.68

#### หมายเหตุ

ตัวอักษรหมบนซ้ายต่างกันหมายถึง มีความแตกต่างกันในแนวตั้งที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

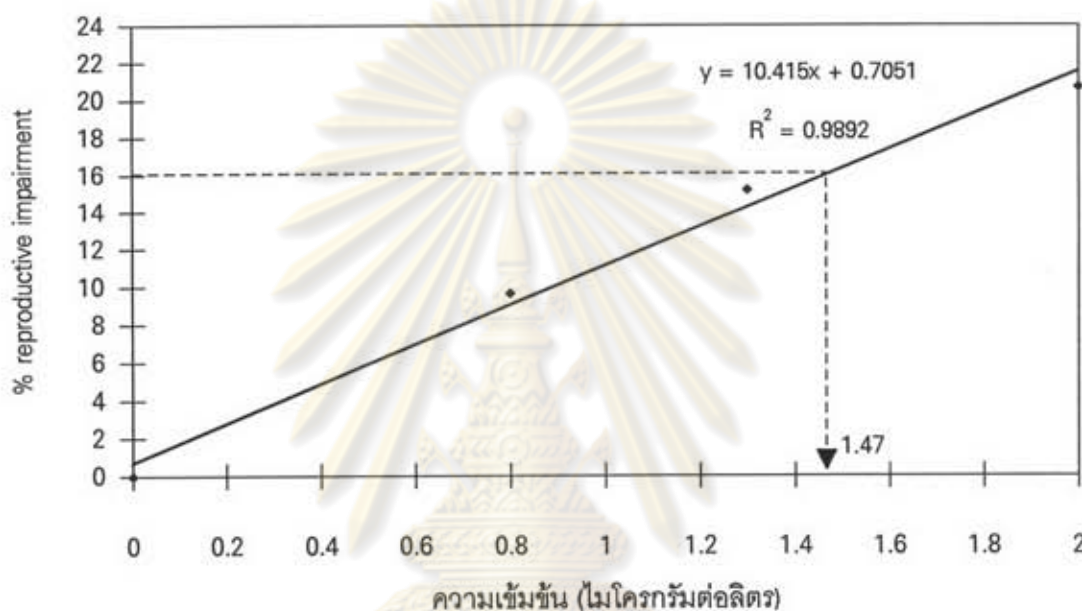
ตัวอักษร 2 ตัว เช่น ab หมายถึง ไม่มีความแตกต่างระหว่าง a และ b ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางที่ 4.20 ผลของอีโรเฟนพริออกซ์ต่อจำนวนลูกเฉลี่ยของไรแดงรุ่น F1 และเปอร์เซ็นต์ของจำนวนลูกไรแดงที่ลดลงเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม

ความเข้มข้น (ไมโครกรัมต่อลิตร)	ไรแดง (ตัว)	จำนวนลูกเฉลี่ยของ ไรน้ำแดงรุ่น F1	%Reproductive Impairment
0	20	96.75	
0.8	20	87.40	9.66
1.3	20	82.05	15.19
2.0	20	76.75	20.67



เมื่อนำจำนวนลูกเฉลี่ยของไรแดงในรุ่น F1 ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ของอีโรเฟนพริกซ์ มาวิเคราะห์หาระดับความเข้มข้นที่ทำให้จำนวนลูกไรแดงลดลงร้อยละ 16 เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม (ตารางที่ 4.20) ซึ่งเป็นระดับความเข้มข้นสูงสุดของอีโรเฟนพริกซ์ที่ยอมให้มีได้ในแหล่งน้ำที่ไรแดงอาศัยอยู่โดยไม่เป็นอันตราย (MATC) จากการทดลองครั้งนี้ ค่า MATC ของอีโรเฟนพริกซ์ต่อไรแดงมีค่าเท่ากับ 1.47 ไมโครกรัมต่อลิตร (รูปที่ 4.15)



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงการหาความเข้มข้นของอีโรเฟนพริกซ์ที่ยอมให้มีได้ในแหล่งน้ำ (MATC)

### คุณภาพน้ำในการทดสอบพิษรองเจียบพลัน

คุณภาพน้ำเมื่อเริ่มการทดสอบ ระหว่างการทดสอบ และภายหลังการทดสอบ ไม่ปรากฏว่ามีปัจจัยคุณภาพน้ำค่าใดที่เปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัด ดังตารางที่ 4.21 และเนื่องจากในการทดสอบพิษรองเจียบพลัน มีการเปลี่ยนสารละลายทดสอบทุก 24 ชั่วโมงเพื่อให้ความเข้มข้นของสารคงที่ ดังนั้นปัจจัยคุณภาพน้ำจึงไม่มีผลต่อความเป็นพิษของสารเคมีกำจัดแมลงที่ใช้ทดสอบทั้ง 3 ชนิดต่อไรแดงในการศึกษาครั้งนี้

ตารางที่ 4.21 คุณภาพน้ำที่ใช้ในการทดสอบพิษรองเฉียบพลัน

ปัจจัยคุณภาพน้ำ	ระหว่างการทดลอง
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	7.2 - 7.4
อุณหภูมิ (°C)	26.0 - 28.0
ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (mg/l)	6.4 - 6.8
ความกระด้าง (mg/l as CaCO <sub>3</sub> )	96.0 - 98.6
ความเป็นด่าง (mg/l as CaCO <sub>3</sub> )	87.5 - 92.0

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบพิษรองเฉียบพลันของสารเคมีกำจัดแมลงทั้ง 3 ชนิด จะเห็นได้ว่า คลอร์ไพริฟอสมีผลต่อการสืบพันธุ์และอายุขัยของไรแดงชัดเจนกว่า คาร์บาริล และอีโธเฟนพริออร์คซ์ โดยคลอร์ไพริฟอสที่ระดับความเข้มข้น 1/10, 1/6 และ 1/4 ของ 48-h LC<sub>50</sub> มีผลทำให้จำนวนลูกและการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศของไรแดงลดลงตามลำดับเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม และพิจารณาในระหว่างรุ่นพบว่า คลอร์ไพริฟอสมีผลทำให้จำนวนลูกจากรุ่น F1 ถึง F5 ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยเฉพาะที่ระดับความเข้มข้น 1/6 และ 1/4 ของ 48-h LC<sub>50</sub> ส่วนที่ระดับความเข้มข้น 1/10 ของ 48-h LC<sub>50</sub> จำนวนลูกไรแดงลดลงอย่างมีนัยสำคัญจากรุ่น F1 ถึง F4 และในรุ่น F5 ไรแดงเริ่มมีจำนวนลูกไม่แตกต่างจากรุ่น F4 อาจเป็นไปได้ว่าระดับความเข้มข้นระดับนี้เป็นระดับความเข้มข้นที่ค่อนข้างต่ำ เมื่อเวลาผ่านไปหลายรุ่นทำให้ไรแดงสามารถปรับตัวให้มีความทนต่อสภาวะนี้ได้ จำนวนลูกในรุ่นหลังๆจึงไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก แต่ที่ระดับความเข้มข้นสูงๆของคลอร์ไพริฟอสจำนวนลูกไรแดงลดลงอย่างมากจากรุ่น F1 ถึง F5 ทั้งนี้เนื่องจากคลอร์ไพริฟอสมีความเป็นพิษสูงที่สุดในสารเคมีกำจัดแมลงที่ใช้ทดสอบทั้ง 3 ชนิดจากการทดสอบพิษเฉียบพลันซึ่งสอดคล้องกับ Worthing (1983) ที่กล่าวว่า คลอร์ไพริฟอสมีพิษอย่างมากต่อ ปลา กุ้ง และสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำบางชนิด นอกจากนี้มีผลต่อจำนวนลูกแล้ว คลอร์ไพริฟอสยังส่งผลต่อการจำนวนครั้งของการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ และอายุขัยของไรแดงคือ ไรแดงจะมีจำนวนครั้งของการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศลดลงและมีอายุสั้นลงที่ระดับความเข้มข้น 1/6 และ 1/4 ของ 48-h LC<sub>50</sub> ส่วนที่ระดับความเข้มข้น 1/10 ของ 48-h LC<sub>50</sub> ให้ผลเช่นเดียวกับผลต่อจำนวนลูกของไรแดง

สำหรับคาร์บาริลและอีโธเฟนพริออร์คซ์ ที่ระดับความเข้มข้น 1/10, 1/6 และ 1/4 ของ 48-h LC<sub>50</sub> มีผลทำให้จำนวนลูกและจำนวนครั้งในการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ และอายุขัยลดลงเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม แต่เมื่อพิจารณาในระหว่างรุ่น F1 ถึง F5 จำนวนลูกและจำนวนครั้งในการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ และอายุขัยของไรแดงมีค่าใกล้เคียงกันอย่างมีนัยสำคัญ



อย่างไรก็ตาม สารเคมีกำจัดแมลงทั้ง 3 ชนิดที่ระดับความเข้มข้นรองเจียบพลันไม่มีผลต่อขนาดร่างกาย ทั้งนี้จากการสังเกตด้วยกล้องจุลทรรศน์และการวัดขนาด พบว่าไม่มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุม อาจเนื่องจากสารเคมีกำจัดแมลงที่ระดับความเข้มข้นรองเจียบพลัน ซึ่งถือว่ามี ความเข้มข้นที่ต่ำมากจึงไม่แสดงผลของความเป็นพิษต่อขนาดความยาวลำตัวของไรแดงซึ่งเป็น ลักษณะทางกายภาพได้ชัดเจนนัก แต่แสดงผลต่อการเปลี่ยนแปลงในด้านการสืบพันธุ์ซึ่งเป็น ลักษณะทางสรีรวิทยาได้ชัดเจนกว่ากล่าวคือ ทำให้จำนวนลูกและความถี่ในการสืบพันธุ์แบบไม่ อาศัยเพศของไรแดงลดลง เช่นเดียวกับการศึกษาของ Savino และ Tanabe (1989) พบว่า พิษรอง เจียบพลันของ phenanthrene , nicotin และ pinane มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของจำนวนลูกและการ เติบโตของ *Daphnia pulex* โดยสามารถตรวจวัดได้ที่ระดับความเข้มข้นของสารทดสอบน้อยกว่า 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร และจากการศึกษาของ Fern'andez และคณะ (1993) พบว่า พิษรองเจียบพลัน ของ endosulfan ที่ระดับความเข้มข้น 1/3, 2/5 และ 1/2 ของ 24-h LC<sub>50</sub> ต่อ *Daphnia magna* มีผลทำให้ระยะเวลาในการให้ลูกครั้งแรกยาวนานขึ้น และจำนวนลูกเฉลี่ยน้อยลง ต่อมาได้ศึกษาพิษเรื้อรัง ของ methylparathion ต่อ *Daphnia magna* พบว่า ระยะเวลาในการมีชีวิตอยู่ (longivity) ของ *Daphnia magna* ลดลงเมื่อความเข้มข้นของ methylparathion เพิ่มขึ้น (Fern'andez และคณะ, 1995)

จากการศึกษาความเป็นพิษของสารเคมีกำจัดแมลงทั้ง 3 ชนิดต่อไรแดง สามารถนำค่า MATC (maximum acceptable toxicant cocentration) ซึ่งเป็นระดับความเข้มข้นสูงสุดที่ไม่เป็น อันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ มาใช้กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำ ซึ่ง Biesinger และ Christensen (1972) เสนอว่า การศึกษาผลของความเป็นพิษของสารพิษต่อการลดลงของจำนวนลูกของ สัตว์ทดลอง จะให้ผลในการวัดการตอบสนองต่อสารพิษได้ดีกว่าการศึกษาถึงอัตราการตายของ สัตว์ทดลองในสารพิษนั้น ดังนั้นในการประเมินระดับความเข้มข้นสูงสุดที่ยอมให้มีได้ในแหล่งน้ำ ของ คลอร์ไพริฟอส คาร์บาริล และอีโรเฟนพรีออร์ค คือ การหาค่าความเข้มข้นสูงสุดของสารแต่ละ ชนิดที่ทำให้จำนวนลูกของไรแดงลดลงน้อยกว่าร้อยละ 16 ของจำนวนลูกเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม (16% reproductive impairment) นั่นเอง สำหรับค่า MATC ของสารเคมีกำจัดแมลงที่ใช้ทดสอบ ทั้ง 3 ชนิด พบว่า คลอร์ไพริฟอส มีค่า MATC ต่ำที่สุดเท่ากับ 0.019 ไมโครกรัมต่อลิตร รองลงมา คือ อีโรเฟนพรีออร์ค และคาร์บาริล ซึ่งมีค่า MATC เท่ากับ 1.47 และ 4.12 ไมโครกรัมต่อลิตร ตาม ลำดับซึ่งสอดคล้องกับการทดสอบพิษเจียบพลัน อย่างไรก็ตาม ค่า incipient LC<sub>50</sub> จากการทำ เส้นโค้งความเป็นพิษในการทดสอบพิษเจียบพลันครั้งนี้ไม่สามารถทำนายพิษรองเจียบพลันได้แน่ ชัด เนื่องจาก ค่า LC<sub>50</sub> ของสารทดสอบที่ระยะเวลาต่างๆมีเพียง 3 จุด เส้นกราฟจึงไม่เป็นเส้นโค้ง ชัดเจนแต่มีแนวโน้มที่จะเป็นเส้นตรงขนานกับแกนเวลา



เมื่อเปรียบเทียบระดับความเข้มข้นที่ยอมให้มีได้ในแหล่งน้ำของคลอรีนไฟรฟอส คาร์บาริล และอีโรเฟนพริกอร์ช ที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้กับค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินประเทศไทย โดยมาตรฐานกำหนดไว้เป็นค่ารวมของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชและสัตว์มีค่าเท่ากับ 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร (กองมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม 2534) พบว่าค่าความปลอดภัยของสารทดสอบทั้ง 3 ชนิด มีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด ดังนั้นจึงสามารถใช้ค่าความปลอดภัยของคลอรีนไฟรฟอส คาร์บาริลและอีโรเฟนพริกอร์ชจากการศึกษาครั้งนี้เป็นแนวทางในการกำหนดค่ามาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำต่อไป

สำหรับค่ามาตรฐานความปลอดภัยของสารเคมีที่รายงานไว้ในต่างประเทศ (กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย, 2536) มีดังนี้

#### คลอรีนไฟรฟอส

สหภาพโซเวียต กำหนดค่ามาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำเพื่อการประมง เท่ากับ 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร

เม็กซิโก กำหนดค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำกร่อย เท่ากับ 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร และมาตรฐานคุณภาพน้ำชายฝั่งทะเล เท่ากับ 3.0 ไมโครกรัมต่อลิตร

#### คาร์บาริล

สหภาพโซเวียต กำหนดค่ามาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำเพื่อการประมง เท่ากับ 0.5 ไมโครกรัมต่อลิตร

จากค่ามาตรฐานดังกล่าว สังเกตได้ว่าค่ามาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำของคลอรีนไฟรฟอส และคาร์บาริล ที่กำหนดไว้มีค่าแตกต่างกันไปในแต่ละประเทศ ทั้งนี้อาจเนื่องจากปัจจัยควบคุมแตกต่างกัน เช่น อุณหภูมิ คุณภาพน้ำ ตลอดจนชนิดของสัตว์ทดลอง เป็นต้น ดังนั้นในการกำหนดค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำ ควรจะยึดค่าความปลอดภัยที่ศึกษาในประเทศไทย หรือประเทศที่มีสภาพอากาศและปัจจัยแวดล้อมคล้ายคลึงกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย