

พืชเถิบพลับและพืชรองเถิบพลับของแคดเมียม ทองแดง และสังกะสี  
ในสภาพสารละลายคู่ผสมต่อไรแดง *Moina macrocopa* Straus



นางสาวพรรณิณี เจตน์วิทยาชาญ

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา พ.ศ 2539

ISBN 974-636-759-5

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I17388 247

**LETHAL AND SUBLETHAL EFFECTS OF PAIRED MIXTURES OF  
CADMIUM, COPPER AND ZINC ON *Moina macrocopa* Straus**

**Miss Tassanee Chetwittayachan**



**ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย**

**A Thesis Submitted in Partial Fullfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science  
Inter-Department of Environmental Science  
Graduate School  
Academic Year 1996  
ISBN 974-636-759-5**





### พิมพ์ต้นฉบับบทความวิจัยวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

พรรณิณี เจตน์วิทย์ : พิษเฉียบพลันและพิษรองเฉียบพลันของแคดเมียม ทองแดงและสังกะสี ในสภาพสารละลาย คู่ผสมต่อไรแดง *Moina macrocopa* Straus (LETHAL AND SUBLETHAL EFFECTS OF PAIRED MIXTURES OF CADMIUM, COPPER AND ZINC ON WATER FLEA, *Moina macrocopa* Straus)  
อ.ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.ธรรมบุญ โจนะบุรานนท์, 137 หน้า. ISBN 974-636-759-5.

ศึกษาพิษเฉียบพลันของสารละลายคู่ผสมของแคดเมียม ทองแดง และสังกะสีในสภาพสารละลายคู่ผสมของแคดเมียม ทองแดง และสังกะสีต่อไรแดง *Moina macrocopa* Straus ด้วยวิธีชีววิเคราะห์แบบน้ำนิ่งในสภาพห้องปฏิบัติการ โดยใช้ความเข้มข้นของสารในรูปของหน่วยความเป็นพิษ (toxic unit) ทำการวิเคราะห์ข้อมูลความเป็นพิษในรูปมัธยฐานของระดับความเข้มข้น ( $LC_{50}$ ) ในระยะเวลา 48 ชั่วโมง ที่ช่วงความเข้มข้นร้อยละ 95 พบว่า ค่า 48-h  $LC_{50}$  (ค่าเฉลี่ยและพิสัย) ของสารละลายคู่ผสมของแคดเมียม และทองแดง ที่สัดส่วน 1:1, 1:2 และ 2:1 มีค่าเท่ากับ 2.63 (2.60-2.66), 2.33 (2.29-2.36) และ 3.23 (3.18-3.27) TU ตามลำดับ ค่า 48-h  $LC_{50}$  ของสารละลายคู่ผสมของแคดเมียมและสังกะสี ที่สัดส่วนความเป็นพิษ 1:1, 1:2 และ 2:1 มีค่าเท่ากับ 2.65 (2.56-2.74), 3.66 (3.53-3.80) และ 5.49 (5.38-5.61) TU ตามลำดับ และค่า 48-h  $LC_{50}$  ของสารละลายคู่ผสมของสังกะสีและทองแดง ที่สัดส่วนความเป็นพิษ 1:1, 1:2 และ 2:1 มีค่าเท่ากับ 4.22 (4.08-4.36), 3.52 (3.43-3.60) และ 3.24 (3.11-3.40) TU ตามลำดับ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า สารละลายคู่ผสมของแคดเมียมและทองแดงมีความเป็นพิษมากที่สุด รองลงมาคือ สารละลายคู่ผสมของแคดเมียม และสังกะสี และสังกะสีและทองแดง ตามลำดับ โดยลักษณะความเป็นพิษร่วมกันของสารคู่ผสมของแคดเมียม ทองแดง และสังกะสี เป็นแบบต้านฤทธิ์กัน ผลการศึกษาพิษรองเฉียบพลันด้วยวิธีชีววิเคราะห์แบบน้ำนิ่งเปลี่ยนน้ำ พบว่า สารละลายคู่ผสมของแคดเมียม และทองแดง ที่ระดับความเข้มข้น 0.24, 0.39 และ 0.57 TU และสารละลายคู่ผสมของแคดเมียมและสังกะสี ที่ระดับความเข้มข้น 0.26, 0.44 และ 0.66 TU มีผลต่อการสืบพันธุ์ โดยทำให้จำนวนลูก จำนวนครั้งของการ สืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ ขนาดความยาว ลำตัว และอายุขัยของไรแดงลดลงจากรุ่น F1 ถึง F5 โดยเฉพาะที่ระดับความเข้มข้นสูงสุด (0.57 และ 0.66 TU) แต่สำหรับสารละลาย คู่ผสมของสังกะสีและทองแดง ที่ระดับความเข้มข้น 0.33, 0.54 และ 0.81 TU ไม่มีผลต่อการสืบพันธุ์ การเติบโต และอายุขัยของ ไรแดง และจากการคำนวณโดยใช้ค่า 16 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนลูกที่ลดลงตามวิธีของ Biesinger และ Christensen สามารถประเมิน ระดับความเข้มข้นของแคดเมียม ทองแดง และสังกะสีในสภาพสารละลายคู่ผสม ที่ยอมให้มีได้ในแหล่งน้ำและปลอดภัยต่อสัตว์น้ำ โดยเฉพาะไรแดง มีค่าเท่ากับ 0.0121, 0.00329 และ 0.096 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ศูนย์วิทยุทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา ..... สาขา .....  
สาขาวิชา ..... วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม .....  
ปีการศึกษา ..... 2539 .....

ลายมือชื่อนิสิต .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

พิมพ์ต้นฉบับบทความวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

## C626491 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE  
 KEY WORD: TOXICITY / CADMIUM / COPPER / ZINC / *Moina macrocopa*  
 TASSANEE CHETWITTAYACHAN : LETHAL AND SUBLETHAL EFFECTS OF PAIRED MIXTURES OF CADMIUM, COPPER AND ZINC ON WATER FLEA , *Moina macrocopa* Straus. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. THAMNOON ROCHANABURANON, Ph.D. 137 pp. ISBN 974-636-759-5.

Static bioassay tests were conducted to determine acute toxic effects of paired mixtures of cadmium, copper, and zinc on water flea, *Moina macrocopa* Straus. The concentration of paired mixtures was expressed in "Toxic Unit". Observed mortality data of these testes were measured in terms of median lethal concentrations with 95 % confidence limit at 48 hours. The results showed that 48-h  $LC_{50}$  (mean and range) of cadmium-copper mixtures at toxicity ratios 1:1, 1:2 and 2:1 were 2.63 (2.60-2.66), 2.33 (2.29-2.36) and 3.23 (3.18-3.27) TU, respectively. Moreover, 48-h  $LC_{50}$  values of cadmium-zinc mixtures at toxicity ratios 1:1, 1:2 and 2:1 were 2.65 (2.56-2.74), 3.66 (3.53-3.80) and 5.49 (5.38-5.61) TU, respectively, whereas the mixture of zinc-copper at toxicity ratios 1:1, 1:2 and 2:1 were 4.22 (4.08-4.36), 3.52 (3.43-3.60) and 3.24 (3.11-3.40) TU, respectively. This result was possible to conclude that the mixed combination of cadmium-copper was more toxic than those of cadmium-zinc, and zinc-copper, in respective order. The combined effects of the paired mixtures of these metals exhibited antagonism. Sublethal effects were conducted under static renewal condition. The cadmium-copper mixtures at 0.24, 0.39 and 0.57 TU, and the cadmium-zinc mixtures at 0.26, 0.44 and 0.66 TU have quite obvious effects on the reproduction by reducing the numbers of young production, parthenogenesis capacity, length and longevity of water flea from F1 to F5 particularly at the maximum concentrations (0.57 and 0.66 TU). However, the zinc-copper mixtures at 0.33, 0.54 and 0.81 TU had no effect on reproduction, growth and longevity of the water flea. In addition, 16% reproductive impairment studies based on Biesinger and Christensen method were calculated. The maximum acceptable toxicant and safe concentration values of cadmium, copper and zinc in paired mixtures solutions for aquatic animals especially the water flea were 0.0121, 0.00329 and 0.096 mg/l, respectively.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....สหสาขา  
 สาขาวิชา.....วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม  
 ปีการศึกษา..... 2539

ลายมือชื่อนิสิต..... Tassanee Chetwittayachan.  
 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... T. Rochanaburanon  
 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..... -

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประสบความสำเร็จได้เป็นอย่างดีด้วยความช่วยเหลือและสนับสนุนจากผู้เกี่ยวข้องหลายฝ่าย ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ธรรมบุญ โรจนะบุรานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา ข้อเสนอแนะ ข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งให้กำลังใจเสมอมา ตลอดจนตรวจสอบและแก้ไขรายละเอียดต่าง ๆ ของวิทยานิพนธ์นี้ และขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กัทร ธีรคุปต์ รองศาสตราจารย์ ดร.ยุพา รองศรีแย้ม และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมเกียรติ ปิยะธีรชิตวิรุฬ ที่ให้ความกรุณาเวลาเพื่อเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งให้คำแนะนำและแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

เนื่องจากการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ สำเร็จได้ด้วยการสนับสนุนทุนในการวิจัย โดยได้รับส่วนหนึ่งจากสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม เงินทุนสนับสนุนในโครงการผู้ช่วยวิจัย ประจำปีการศึกษา 2537 ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และทุนของโครงการผลิตและพัฒนาอาจารย์ (UDC) จากทบวงมหาวิทยาลัย รวมทั้งทุนอุดหนุนการวิจัยจากมูลนิธิเพื่อสิ่งแวดล้อม ชินโสโภกเพนิช จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบพระคุณคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์และความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการวิจัยชีววิเคราะห์และห้องปฏิบัติการรวม สำหรับทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ คุณทัศนีย์ วัชรกรโยธิน จากสถานีประมงน้ำจืด กรมประมง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี ที่อนุเคราะห์ให้เรือเพื่อนำมาใช้ในการทำวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ด้วย ขอขอบพระคุณ คุณกัญญา สุจริตวงศานนท์ จากหน่วยงานสาหร่าย สถาบันพัฒนาและค้นคว้าผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่อนุเคราะห์ให้เชื้อสาหร่ายสำหรับเพาะเลี้ยงไรแดง และขอขอบพระคุณ ฝ่ายพัฒนาการเกษตร บริษัทอายิโนะโมะโต๊ะ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ อามิ-อามิ (กากผงชูรส) เพื่อใช้เป็นส่วนหนึ่งในสูตรอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่าย

ขอขอบพระคุณ อาจารย์โชคชัย ยะชูศรี อาจารย์เรวัตติ วัฒนานุกุลกิจ และอาจารย์สุรัตน์ บัวเลิศ ที่ให้คำปรึกษา ข้อเสนอแนะ และให้ความช่วยเหลือในหลายด้านขณะทำวิทยานิพนธ์ และขอบคุณเพื่อนๆ C6 พี่ๆ น้องๆ สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม ที่ให้กำลังใจและให้ความช่วยเหลือตลอดมา

ท้ายนี้ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณบิดา มารดา พี่ชาย พี่สาว และคุณนพดล ตั้งสกุล ที่สนับสนุนและเป็นกำลังใจอันสำคัญเสมอมาจนประสบความสำเร็จในการทำวิทยานิพนธ์และการศึกษาในครั้งนี้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	ข
กิตติกรรมประกาศ .....	ค
สารบัญ .....	ง
สารบัญตาราง .....	จ
สารบัญรูป .....	ช
บทที่	
1. บทนำ .....	1
2. การตรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	5
3. วิธีดำเนินการวิจัย .....	45
4. ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล .....	51
5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ .....	97
รายการอ้างอิง .....	100
ภาคผนวก .....	106
ประวัติผู้เขียน .....	137

ศูนย์วิทยพัชยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญตาราง

ตารางที่	.	หน้า
ตารางที่ 2.1	การจัดกลุ่มโลหะตามลักษณะของความเป็นพิษ .....	5
ตารางที่ 2.2	ประโยชน์ของสารประกอบแคดเมียมที่ใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ .....	7
ตารางที่ 2.3	สารประกอบทองแดงที่ใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่างๆ .....	8
ตารางที่ 2.4	สารประกอบสังกะสีที่ใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่างๆ .....	11
ตารางที่ 2.5	โลหะที่เป็นอันตรายบางชนิดในน้ำทิ้งอุตสาหกรรม .....	13
ตารางที่ 2.6	ชนิดของสังกะสีที่ปรากฏในแหล่งน้ำ .....	17
ตารางที่ 4.1	ผลการทดลองพิษเฉียบพลันแสดงจำนวนและเปอร์เซ็นต์การตายสะสมในระยะเวลา 48 ชั่วโมงของสารผสมแคดเมียมและทองแดง ที่สัดส่วนความเป็นพิษ 1:1 .....	52
ตารางที่ 4.2	ผลการทดลองพิษเฉียบพลันแสดงจำนวนและเปอร์เซ็นต์การตายสะสมในระยะเวลา 48 ชั่วโมงของสารผสมแคดเมียมและทองแดง ที่สัดส่วนความเป็นพิษ 1:2 .....	52
ตารางที่ 4.3	ผลการทดลองพิษเฉียบพลันแสดงจำนวนและเปอร์เซ็นต์การตายสะสมในระยะเวลา 48 ชั่วโมงของสารผสมแคดเมียมและทองแดง ที่สัดส่วนความเป็นพิษ 2:1 .....	53
ตารางที่ 4.4	ลักษณะความเป็นพิษของสารคู่ผสมแคดเมียมและทองแดง .....	53
ตารางที่ 4.5	ผลการทดลองพิษเฉียบพลันแสดงจำนวนและเปอร์เซ็นต์การตายสะสมที่เวลา 48 ชั่วโมง ของสารผสมแคดเมียมและสังกะสี ที่สัดส่วนความเป็นพิษ 1:1 .....	55
ตารางที่ 4.6	ผลการทดลองพิษเฉียบพลันแสดงจำนวนและเปอร์เซ็นต์การตายสะสมที่เวลา 48 ชั่วโมง ของสารผสมแคดเมียมและสังกะสี ที่สัดส่วนความเป็นพิษ 1:2 .....	56
ตารางที่ 4.7	ผลการทดลองพิษเฉียบพลันแสดงจำนวนและเปอร์เซ็นต์การตายสะสมที่เวลา 48 ชั่วโมง ของสารผสมแคดเมียมและสังกะสี ที่สัดส่วนความเป็นพิษ 2:1 .....	56
ตารางที่ 4.8	ลักษณะความเป็นพิษของสารคู่ผสมของแคดเมียมและสังกะสี .....	57
ตารางที่ 4.9	ผลการทดลองพิษเฉียบพลันแสดงจำนวนและเปอร์เซ็นต์การตายสะสมที่เวลา 48 ชั่วโมง ของสารผสมสังกะสีและทองแดง ที่สัดส่วนความเป็นพิษ 1:1 .....	59
ตารางที่ 4.10	ผลการทดลองพิษเฉียบพลันแสดงจำนวนและเปอร์เซ็นต์การตายสะสมที่เวลา 48 ชั่วโมง ของสารผสมสังกะสีและทองแดง ที่สัดส่วนความเป็นพิษ 1:2 .....	60
ตารางที่ 4.11	ผลการทดลองพิษเฉียบพลันแสดงจำนวนและเปอร์เซ็นต์การตายสะสมที่เวลา 48 ชั่วโมง ของสารผสมสังกะสีและทองแดง ที่สัดส่วนความเป็นพิษ 2:1 .....	60
ตารางที่ 4.12	ลักษณะความเป็นพิษของสารคู่ผสมของสังกะสีและทองแดง .....	61



สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ตารางที่ 4.13	คุณภาพน้ำที่ใช้ในระหว่างทำการทดลองพืชเฉียบพลัน.....	63
ตารางที่ 4.14	ความรุนแรงของความเป็นพิษของแคดเมียม ทองแดง และสังกะสีในสารผสม เทียบกับสารเดี่ยว.....	65
ตารางที่ 4.15	ผลของสารผสมแคดเมียมและทองแดงต่อจำนวนลูกเฉลี่ยของไรแดง 1 ตัว ในแต่ละรุ่น ...	70
ตารางที่ 4.16	ผลของสารคู่ผสมแคดเมียมและทองแดงต่อจำนวนลูกเฉลี่ยของไรแดงรุ่น F1 และ เปอร์เซ็นต์ของจำนวนลูกไรแดงที่ลดลงเมื่อเทียบกับชุดควบคุม .....	71
ตารางที่ 4.17	ผลของสารคู่ผสมแคดเมียมและทองแดงต่อจำนวนครั้งเฉลี่ยของการสืบพันธุ์แบบ ไม่อาศัยเพศของไรแดง 1 ตัว ในแต่ละรุ่น.....	72
ตารางที่ 4.18	ผลของสารคู่ผสมแคดเมียมและทองแดงต่อขนาดเฉลี่ยของไรแดง 1 ตัวในแต่ละรุ่น .....	74
ตารางที่ 4.19	ผลของสารคู่ผสมแคดเมียมและทองแดงต่ออายุเฉลี่ยของไรแดง 1 ตัวในแต่ละรุ่น .....	77
ตารางที่ 4.20	ผลของสารคู่ผสมแคดเมียมและสังกะสีต่อจำนวนลูกเฉลี่ยของไรแดง 1 ตัวในแต่ละรุ่น ....	78
ตารางที่ 4.21	ผลของสารคู่ผสมแคดเมียมและสังกะสีต่อจำนวนลูกเฉลี่ยของไรแดงรุ่น F1 และ เปอร์เซ็นต์ของจำนวนลูกไรแดงที่ลดลงเมื่อเทียบกับชุดควบคุม .....	79
ตารางที่ 4.22	ผลของสารคู่ผสมแคดเมียมและสังกะสีต่อจำนวนครั้งเฉลี่ยของการสืบพันธุ์แบบ ไม่อาศัยเพศของไรแดง 1 ตัว ในแต่ละรุ่น .....	80
ตารางที่ 4.23	ผลของสารคู่ผสมแคดเมียมและสังกะสีต่อขนาดเฉลี่ยของไรแดง 1 ตัวในแต่ละรุ่น .....	82
ตารางที่ 4.24	ผลของสารคู่ผสมแคดเมียมและสังกะสีต่ออายุเฉลี่ยของไรแดง 1 ตัวในแต่ละรุ่น .....	86
ตารางที่ 4.25	ผลของสารคู่ผสมแคดเมียมและสังกะสีต่อจำนวนลูกเฉลี่ยของไรแดง 1 ตัวในแต่ละรุ่น .....	87
ตารางที่ 4.26	ผลของสารคู่ผสมสังกะสีและทองแดงต่อจำนวนครั้งเฉลี่ยของการสืบพันธุ์แบบ ไม่อาศัยเพศของไรแดง 1 ตัวในแต่ละรุ่น.....	88
ตารางที่ 4.27	ผลของสารคู่ผสมสังกะสีและทองแดงต่อขนาดเฉลี่ยของไรแดง 1 ตัวในแต่ละรุ่น .....	89
ตารางที่ 4.28	ผลของสารคู่ผสมสังกะสีและทองแดงต่ออายุเฉลี่ยของไรแดง 1 ตัวในแต่ละรุ่น .....	90
ตารางที่ 4.29	คุณภาพน้ำที่ใช้ในระหว่างทำการทดลองพืชรองเฉียบพลัน.....	93
ตารางที่ ฉ-1	จำนวนลูกของไรแดงในแต่ละรุ่น : ชุดทดลอง Cd และ Cu (1:2) .....	125
ตารางที่ ฉ-2	จำนวนครั้งในการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศในแต่ละรุ่น : ชุดทดลอง Cd และ Cu (1:2) ....	126
ตารางที่ ฉ-3	อายุของไรแดงในแต่ละรุ่น : ชุดทดลอง Cd และ Cu (1:2) .....	127
ตารางที่ ฉ-4	ขนาดของไรแดงในแต่ละรุ่น : ชุดทดลอง Cd และ Cu (1:2) .....	128
ตารางที่ ฉ-5	จำนวนลูกของไรแดงในแต่ละรุ่น : ชุดทดลอง Cd และ Zn (1:1) .....	129

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ตารางที่ ฉ-6	จำนวนครั้งในการสลับพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศในแต่ละรุ่น : ชุดทดลอง Cd และ Zn (1:1) ....	130
ตารางที่ ฉ-7	อายุของไรแดงในแต่ละรุ่น : ชุดทดลอง Cd และ Zn (1:1) .....	131
ตารางที่ ฉ-8	ขนาดของไรแดงในแต่ละรุ่น : ชุดทดลอง Cd และ Zn (1:1) .....	132
ตารางที่ ฉ-9	จำนวนลูกของไรแดงในแต่ละรุ่น : ชุดทดลอง Zn และ Cu (2:1) .....	133
ตารางที่ ฉ-10	จำนวนครั้งในการสลับพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศในแต่ละรุ่น : ชุดทดลอง Zn และ Cu (2:1) ....	134
ตารางที่ ฉ-11	อายุของไรแดงในแต่ละรุ่น : ชุดทดลอง Zn และ Cu (2:1) .....	135
ตารางที่ ฉ-12	ขนาดของไรแดงในแต่ละรุ่น : ชุดทดลอง Zn และ Cu (2:1) .....	136



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
รูปที่ 2.1	กลไกการแพร่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ของโลหะหนัก.....	23
รูปที่ 3.1	แสดงตำแหน่งที่ใช้วัดความยาวของไรแดง.....	49
รูปที่ 4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเป็นพิษ (48-h LC <sub>50</sub> ) ของแคดเมียม ทองแดง และ สารละลายผสมของแคดเมียมและทองแดงที่สัดส่วนความเป็นพิษ 1:1 1:2 และ 2:1.....	54
รูปที่ 4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเป็นพิษ (48-h LC <sub>50</sub> ) ของแคดเมียม สังกะสี และ สารละลายผสมของแคดเมียมและสังกะสี ที่สัดส่วนความเป็นพิษ 1:1 1:2 และ 2:1.....	58
รูปที่ 4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเป็นพิษ (48-h LC <sub>50</sub> ) ของสังกะสี ทองแดง และ สารละลายผสมของสังกะสีและทองแดง ที่สัดส่วนความเป็นพิษ 1:1 1:2 และ 2:1.....	62
รูปที่ 4.4	ลักษณะของไรแดงในสารละลายคู่ผสมของแคดเมียมและทองแดง และชุดควบคุม.....	64
รูปที่ 4.5	ลักษณะของไรแดงในสารละลายคู่ผสมของแคดเมียมและสังกะสี และชุดควบคุม.....	64
รูปที่ 4.6	ลักษณะของไรแดงในสารละลายคู่ผสมของสังกะสีและทองแดง และชุดควบคุม.....	64
รูปที่ 4.7	กราฟแสดงค่า MATC ของสารละลายคู่ผสมของแคดเมียมและทองแดง.....	71
รูปที่ 4.8	ลักษณะของแม่ไรแดงในสารละลายคู่ผสมของแคดเมียมและทองแดง และชุดควบคุม....	75
รูปที่ 4.9	กราฟแสดงผลกระทบของสารละลายคู่ผสมของแคดเมียมและทองแดงต่อการสืบพันธุ์ การเติบโต และอายุขัย.....	76
รูปที่ 4.10	กราฟแสดงค่า MATC ของสารละลายคู่ผสมของแคดเมียมและสังกะสี.....	79
รูปที่ 4.11	ลักษณะของแม่ไรแดงในสารละลายคู่ผสมของแคดเมียมและสังกะสี และชุดควบคุม.....	83
รูปที่ 4.12	กราฟแสดงผลกระทบของสารละลายคู่ผสมของแคดเมียมและสังกะสีต่อการสืบพันธุ์ การเติบโต และอายุขัย.....	84
รูปที่ 4.13	ลักษณะของแม่ไรแดงในสารละลายคู่ผสมของสังกะสีและทองแดง และชุดควบคุม.....	91
รูปที่ 4.14	กราฟแสดงผลกระทบของสารละลายคู่ผสมของสังกะสีและแคดเมียมต่อการสืบพันธุ์ การเติบโต และอายุขัย.....	92
รูปที่ ก-1	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารพิษ และเปอร์เซ็นต์การตอบสนองของสัตว์ ทดลองมีลักษณะเป็นเส้นโค้งซิกมอยด์ และเปลี่ยนเป็นกราฟล็อก.....	107
รูปที่ ก-2	การแจกแจงความถี่แบบโค้งปกติของประชากรสัตว์ทดลอง.....	109
รูปที่ ก-3	กราฟเส้นตรงแสดงความเข้มข้นและค่าโพรวิต.....	110