

พิษเฉียบพลันของซิงค์ออกไซด์ต่อหนอนแดง

Acute Toxicity of Zinc Oxide to *Chironomus calipterus* (Kieffer)

นายตา เต็มราม ยุพดี ชัยสุขสันต์ วรรณขำไม การณัด และสมพร ประเสริฐสูงสกุล

ภาควิชาเคมีและภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปัตตานี 94000

บทคัดย่อ

การศึกษาพิษเฉียบพลัน (Acute toxicity) ของซิงค์ออกไซด์โดยวิธี static bioassay ต่อหนอนแดง (*Chironomus calipterus* Kieffer) ที่ระยะที่ 3 พบว่าการตายของหนอนแดงมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของซิงค์ออกไซด์เพิ่มขึ้น ค่าความเข้มข้นของซิงค์ออกไซด์ที่ทำให้หนอนแดงตาย ร้อยละ 50 (LC₅₀) ที่ 48, 72 และ 96 ชั่วโมง คือ 21.00, 10.17 และ 5.90 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ และเวลาที่ทำให้หนอนแดงตาย ร้อยละ 50 (LT₅₀) ที่ความเข้มข้นของซิงค์ออกไซด์ 4.795, 5.845, 6.875, 8.755, 11.565 และ 14.765 มิลลิกรัม/ลิตร มีค่าเท่ากับ 103.01, 96.12, 83.02, 79.30, 73.03 และ 62.31 ชั่วโมงตามลำดับ ค่า LT₅₀ มีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นของซิงค์ออกไซด์เพิ่มขึ้น

คำสำคัญ: พิษเฉียบพลัน หนอนแดง ซิงค์ออกไซด์

ABSTRACT

The acute toxicity of zinc oxide to *Chironomus calipterus* Kieffer was examined by using static bioassay. The third – instar larvae were used in the experiment. It was found that the mortality of larvae increased with an increase of zinc oxide concentration. The lethal concentration of zinc oxide at 50% population of the tested organisms (LC₅₀) in 48, 72 and 96 hours were found to be 21.00, 10.17 and 5.90 mg/L, respectively. In addition, the lethal times for 50% population of the tested organisms (LT₅₀) at the zinc oxide concentrations of 4.795, 5.845, 6.875, 8.755, 11.565 and 14.765 mg/L were 103.01, 96.12, 83.02, 79.30, 73.03 and 62.31 hours, respectively. The LT₅₀ values decreased when the zinc oxide concentration in the solution increased.

Key words: Acute toxicity, *Chironomus calipterus* Kieffer, Zinc oxide

1. บทนำ

ประเทศไทยมีโรงงานอุตสาหกรรมยางพาราเป็นจำนวนมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งในภาคใต้ ซึ่งได้แก่ โรงงานผลิตน้ำยางข้น โรงงานผลิตถุงมือ และโรงงานผลิตยางรถยนต์ เป็นต้น [1] โดยซิงค์ออกไซด์ (ZnO) เป็นสารเคมีที่มีปริมาณการใช้มากที่สุดคิดเป็น 5 ส่วนต่อยางร้อยละ 2) ซิงค์ออกไซด์มีลักษณะเป็นผงสีขาวคล้ายแป้ง ใช้ครั้งแรกในอุตสาหกรรมการผลิตสี (สีขาว) นอกจากนี้ซิงค์ออกไซด์ยังเป็นองค์ประกอบของสารที่ใช้ป้องกันการกัดกร่อนและสีกันเพรียง ในอุตสาหกรรมยางพารา ซิงค์ออกไซด์เป็นสารตัวกระตุ้นที่ดีในกระบวนการวัลคาไนซ์ซัลเฟอร์สำหรับยางธรรมชาติ และยางสังเคราะห์ เป็นตัวกระตุ้นให้สารอินทรีย์ช่วยต่อการเกิดปฏิกิริยาในขั้นตอนการวัลคาไนซ์ ช่วยให้พอลิ-เมอร์มีสมบัติยืดหยุ่นคล้ายยาง และเกิดการครอสลิงค์ รวมถึงใช้เป็นตัวเติม (filler) เพื่อปรับปรุงการนำความร้อนและการทนต่อแสงแดดได้ดีขึ้น [3] นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์เมื่อทิ้งไว้นานจะมีการสลายตัวปล่อยกรดออกมาทำให้อายุการใช้งานสั้นลง ซิงค์ออกไซด์สามารถช่วยยืดอายุการใช้งานให้นานขึ้นโดยการทำปฏิกิริยากับกรดที่ปล่อยออกมา [4]

สำหรับ โลหะสังกะสีเป็นธาตุที่มีความจำเป็นต่อสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ และเป็นองค์ประกอบของเอนไซม์หลายชนิดในร่างกาย [5] ดังนั้นสังกะสีในปริมาณเล็กน้อยจึงมีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการต่าง ๆ ของร่างกาย แต่ถ้าได้รับสังกะสีในปริมาณที่มากเกินไปจะทำให้เกิดปวดท้อง คลื่นไส้ อาเจียน ระดับทองแดงในเลือดต่ำ ทำให้เกิดอาการซีด เม็ดเลือดขาวต่ำ ภูมิคุ้มกันโรคผิดปกติ ถ้าร่างกายได้รับสังกะสีปริมาณวันละ 2 กรัมขึ้นไป

(ประมาณ 133 เท่าของขนาดปกติ) จะทำให้ระคายเคืองต่อระบบทางเดินอาหารแบบเฉียบพลัน ทำให้ปวดท้อง และอาเจียน [6] อย่างไรก็ตามสังกะสีเป็นโลหะที่มีความเป็นพิษน้อยเมื่อเทียบกับโลหะหนักชนิดอื่น ๆ โดยมีค่าการละลายน้อยกว่า 0.1 เปอร์เซ็นต์ [7] แต่สารประกอบของสังกะสีที่ละลายน้ำได้ก็ยังคงมีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำทั้งในลักษณะพิษเฉียบพลันและพิษเรื้อรัง และยังสามารถสะสมในห่วงโซ่อาหารได้อีกด้วย มีรายงานความเป็นพิษของสังกะสีต่อสัตว์น้ำจืด ค่า LC_{50} สำหรับปลาบางชนิด ได้แก่ Rainbow trout และ Fathead minnow มีค่าอยู่ในช่วง 0.64 – 3.0 mg/L ปลาบางชนิดที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำที่มีการปนเปื้อนของสังกะสี พบว่ามีการสะสมของสังกะสีในเนื้อเยื่อในปริมาณที่สูงกว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสังกะสีในแหล่งน้ำที่ปลาอาศัยอยู่นอกจากนี้สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังที่อาศัยในน้ำจืด เช่น *Daphnia magna* เป็นสัตว์ที่มีความไวต่อสังกะสี และมีค่า LC_{50} เท่ากับ 0.35 mg/L [8], [9]

หนอนแดง (*Chironomus calipterus* Kieffer) เป็นสัตว์ที่อาศัยอยู่ในดินตะกอน ดินโคลน และยังเป็นอาหารของปลาหลายชนิดที่อาศัยในน้ำจืด การที่ปลากินหนอนแดงเป็นอาหาร จึงทำให้เกิดการสะสมในห่วงโซ่อาหารได้ ซึ่งได้มีงานวิจัยรายงานว่า การสะสมสารในสิ่งมีชีวิตเป็นตัวบ่งชี้ถึงปริมาณความเป็นพิษที่มีการตอบสนองในสิ่งมีชีวิตก่อนจะเกิดการตาย ซึ่งสามารถใช้เป็นแนวทางในการประเมินอันตรายของสารพิษต่อสิ่งแวดล้อม [10], [11], [12]

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเป็นพิษเฉียบพลันของซิงค์ออกไซด์ต่อหนอนแดง เพื่อใช้เป็นแนวทางในการประเมินอันตรายของสังกะสีในรูปของซิงค์ออกไซด์ที่ใช้กันมาก ในอุตสาหกรรมยางพาราต่อสิ่งแวดล้อม

2. วัตถุประสงค์

ศึกษาความเป็นพิษแบบเฉียบพลันของซิงค์ออกไซด์ต่อหนอนแดง

3. วิธีการทดลอง

3.1 การทดสอบความเป็นพิษเฉียบพลันของ ZnO ต่อ หนอนแดง (*Chironomus calipterus* Kieffer)

3.1.1 สัตว์ทดลอง

หนอนแดงที่ใช้ในการทดลอง (รูปที่ 1) จะอยู่ในระยะตัวอ่อนวัยสาม (third instar larvae) นำหนอนแดงซึ่งอยู่ในอ่างพลาสติกรูปทรงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางก้นอ่าง ประมาณ 14 cm และบรรจุน้ำคูประมาณครึ่งอ่าง มาเลี้ยงในห้องทดลอง ที่อุณหภูมิ 25°C ให้แสงสว่าง 12 ชั่วโมง และมีมืด 12 ชั่วโมงย้ายฝักไข่หนอนแดงจากอ่างพลาสติกลงตู้กระจกสี่เหลี่ยมปิดฝาตู้กระจกด้วยตาข่ายโปร่ง ซึ่งเจาะรูตรงกลางสำหรับสอดสายพลาสติกที่นำออกซิเจนจากเครื่องปั๊มอากาศเข้า



รูปที่ 1 หนอนแดง (*Chironomus calipterus* Kieffer)

3.1.2 การเตรียมสารละลาย ZnO

สารเคมีที่ใช้คือ ZnO (A.R. grade, Merck) โดยเตรียมเป็นสารละลายตั้งต้น (stock solution) ความเข้มข้น 1,000 mg/L ใน 1 M HNO₃ และเตรียมสารละลาย ZnO ที่ใช้ในการทดลอง (ZnO working solution) ความเข้มข้น 5.60, 6.50, 7.50, 8.70, 10.00,

13.50 และ 15.50 mg/L (pH 6.73) ตามระบบ logarithmic scale

3.1.3 การทดสอบความเป็นพิษเฉียบพลัน (Acute toxicity test)

3.1.3.1 ทำการทดลองโดยวิธี static bio-assay เพื่อหาระดับความเป็นพิษเฉียบพลันของ ZnO ที่มีต่อหนอนแดง ใส่สารละลาย ZnO (Zn working solution) 10 mL ลงในขวดแก้วความเข้มข้นละ 10 ข้ว รวมทั้งชุดควบคุม ทั้งไว้ 24 ชั่วโมง แล้วเททิ้งเพื่อทำการ equilibrate จากนั้นใส่สารละลาย ZnO (Zn working solution) 10 mL ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ลงในภาชนะเดิม ใส่หนอนแดงลงในขวดแก้ว ขวดละ 1 ตัว โดยทำการทดลองภายในห้องที่ควบคุมอุณหภูมิ (27±1°C) และแสงสว่าง (16:8 ชั่วโมง สว่างและมีมืด) เริ่มนับเวลาตั้งแต่ใส่หนอนแดง สังเกตและบันทึกจำนวนของหนอนแดงที่เกิดการตายภายใน 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง

3.1.3.2 ข้อมูลการตายของหนอนแดงที่ได้จากการทดลองนำไปวิเคราะห์ หาค่า LC₅₀ ที่ระยะเวลาต่าง ๆ และ LT₅₀ ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของสังกะสี

3.1.3.3 เก็บตัวอย่างสารละลายก่อนและหลังการทดลองด้วยขวดพลาสติก (Polyethylene) โดยเติม conc. HNO₃ 2 mL ต่อสารละลาย 1 L เพื่อให้ pH ของสารละลายต่ำกว่า 2 เพื่อป้องกันการตกตะกอนเกิดการดูดซับบนผนังของภาชนะ นำตัวอย่างไปเก็บที่อุณหภูมิ 4 °C ก่อนวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีโดยใช้ FAAS

3.2 การหาปริมาณของสังกะสีด้วยเทคนิค

Flame Atomic Absorption Spectrophotometry (FAAS)

3.2.1 การวิเคราะห์น้ำตัวอย่าง

3.2.1.1 การเตรียม Zinc standard solution น้ำ 1,000 mg/L Zn stock solution มาเตรียม Zn standard solution เข้มข้น 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 mg/L โดยใช้ 10% HNO₃ ในการเจือจาง

3.2.1.2 การเจือจางน้ำตัวอย่าง เจือจางน้ำตัวอย่าง 2 เท่า โดยใช้ 10% HNO₃ ในกรณีสารละลายมีความเข้มข้นมากกว่าสารมาตรฐาน

3.2.1.3 การตรวจวัดโดย FAAS ความยาวคลื่น 213.9 นาโนเมตร โดยมี Flame: oxidizing เป็น air-C₂H₂ และ Detector เป็น Photodiode array

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลการตายในแต่ละชุดทดลองนำมาวิเคราะห์โดยใช้วิธี Probit analysis [13] และ [14] ซึ่งพัฒนาให้สะดวกขึ้น โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการวิเคราะห์ (Program probit analysis)

4. ผลและการวิจารณ์ผล

ผลการทดสอบความเป็นพิษของสังกะสีต่อหนอนแดง(*Chironomus calipterus* Kieffer)

4.1 พิษเฉียบพลัน (Acute toxicity) ของสังกะสีต่อหนอนแดง

ความเข้มข้นของ ZnO ที่เตรียมขึ้นตาม log scale ที่เวลาตั้งต้นของการทดลอง (Initial concentration) และความเข้มข้นของสังกะสีเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (Final concentration) และความเข้มข้นเฉลี่ย แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความเข้มข้นเริ่มต้น สุดท้าย และเฉลี่ยของ ZnO ที่ใช้ในการทดสอบความเป็นพิษเฉียบพลัน

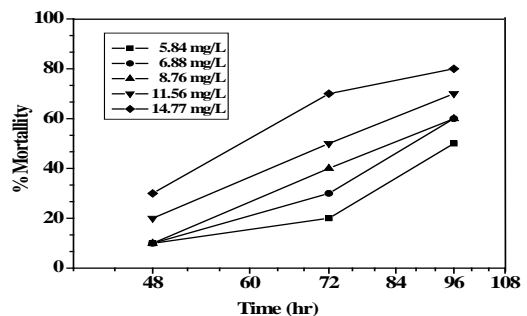
Initial [Zn] (mg/L)	Final [Zn] (mg/L)	Average [Zn] (mg/L)
5.38	4.21	4.795
6.14	5.55	5.845
7.15	6.60	6.875
9.09	8.42	8.755
10.71	9.91	10.31
12.24	10.89	11.565
17.72	11.81	14.765

ผลการทดสอบความเป็นพิษเฉียบพลันของ ZnO ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ณ เวลา 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง แสดงในตารางที่ 2 และรูปที่ 2-3

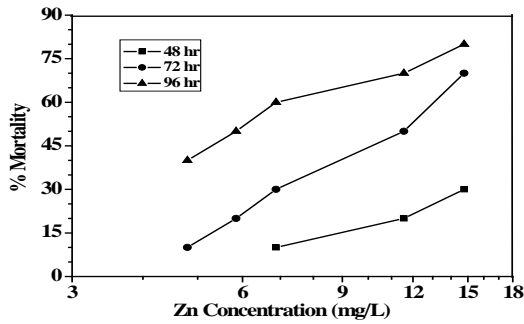
ตารางที่ 2 ร้อยละของการตาย และ% mortality

Time (hr)	Con-trol	Mortality at average ZnO concentration (mg/L)					
		4.79	5.84	6.87	8.75	11.56	14.76
24	0	0	0	0	0	0	0
48	0	10	10	10	10	20	30
72	0	10	20	30	40	50	70
96	0	40	50	60	60	70	80

ข้อมูลจากตารางที่ 2 รวมทั้งรูปที่ 1 และ 2 จะเห็นได้ว่า หนอนแดงมีปริมาณการตายมากขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสังกะสีเพิ่มขึ้นในทุกช่วงเวลาการศึกษา



รูปที่ 2 ร้อยละการตาย (% mortality) ของหนอนแดงที่เวลาต่าง ๆ



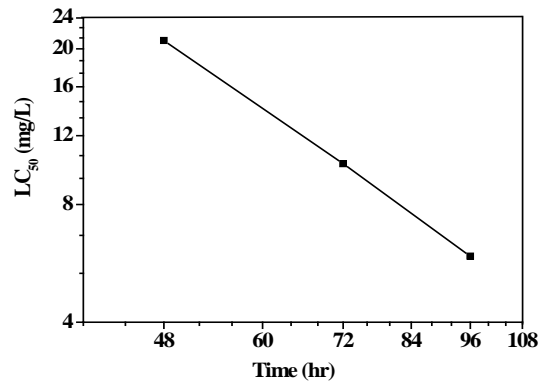
รูปที่ 3 ร้อยละการตายของหนอนแดง (% mortality) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของ ZnO ณ เวลาต่าง ๆ

จากข้อมูลการทดลองที่ได้นำมาคำนวณหาค่า LC_{50} ที่ 48, 72 และ 96 ชั่วโมง โดยใช้วิธี Probit analysis พบว่า LC_{50} ของสังกะสีต่อหนอนแดงมีค่าลดลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น โดยที่ค่า LC_{50} ณ เวลา 48 ชั่วโมง เท่ากับ 21.00 mg/L และที่ 96 ชั่วโมง เท่ากับ 5.90 mg/L (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ค่า LC_{50} ของ ZnO สำหรับหนอนแดงที่เวลา 48, 72 และ 96 ชั่วโมง

Time (hr)	LC_{50} (mg/L)	$\pm 95\%$ CI	Slope LC_{50}
48	21.00	13.74-32.10	1.98
72	10.17	7.95-13.01	1.88
96	5.90	3.81-9.12	3.05

จากค่าที่ได้นำมาเขียนกราฟความเป็นพิษ (Toxicity curve) ได้ดังในรูปที่ 4



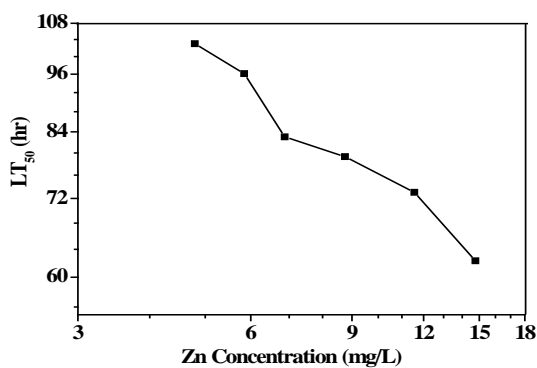
รูปที่ 4 ความเป็นพิษของสังกะสีในรูป LC_{50} (mg/L) ต่อหนอนแดงที่เวลา 48, 72 และ 96 ชั่วโมง

ผลการทดสอบความเป็นพิษเฉียบพลันของ ZnO แสดงให้เห็นว่าการตายของหนอนแดงเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป เมื่อคำนวณหาค่า LT_{50} ที่เวลาต่าง ๆ โดยใช้โปรแกรม Probit analysis จะเห็นได้ว่าค่า LT_{50} มีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารละลาย ZnO มีค่าเพิ่มขึ้น โดยที่ความเข้มข้นของ ZnO เพิ่มขึ้น 4.795 mg/L LT_{50} มีค่าเท่ากับ 103.01 ชั่วโมง ในขณะที่ ZnO ความเข้มข้น 14.765 mg/L ให้ค่า LT_{50} เท่ากับ 62.31 ชั่วโมง (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 ค่า LT_{50} ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของ ZnO

Zn Concentration (mg/L)	LT_{50} (hr)	$\pm 95\%$ CI	Slope LT_{50}
4.795	103.01	86.22-123.07	1.31
5.845	96.12	70.46-131.12	1.60
6.875	83.02	64.57-106.75	1.48
8.755	79.30	62.85-100.06	1.45
11.565	73.03	52.37-101.83	1.65
14.765	62.31	46.17-84.08	1.60

จากค่า LT_{50} ที่ได้จากการทดลองสามารถนำมาเขียนกราฟความเป็นพิษได้ดังแสดงใน รูปที่ 5



รูปที่ 5 ความเป็นพิษของสังกะสีในรูป LT₅₀ (hr) ต่อ หนอนแดงที่ความเข้มข้นต่าง ๆ (mg/L)

มีการศึกษาความเป็นพิษของสารประกอบสังกะสีในหลายประเภทต่อสัตว์น้ำจืดหลายชนิด รายงานค่า LC₅₀ และ LT₅₀ ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่า LC₅₀ ของสารประกอบสังกะสีประเภทต่าง ๆ ต่อสัตว์น้ำจืดที่ 96 ชั่วโมง

Metal source	Organism	LC ₅₀ (mg/L)	Reference
ZnCl ₂	Juvenile Tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>) Linnaeus	40.49	Patcharaporn (2546) [15]
ZnCl ₂	<i>H. vulgaris</i> (Zurich)	14.00	Karnthanat (2002)
ZnSO ₄	<i>Chironomus plumosus</i> (Larvae)	32.60	Fargasova (2001)
ZnO	<i>Chironomus calipterus</i> Kieffer (Larvae)	6.85	Jitiporn (2547)
ZnO	<i>Chironomus calipterus</i> Kieffer (Larvae)	5.90	This study (2006)

จากตารางที่ 5 ค่า LC₅₀ ของการศึกษานี้มีค่าใกล้เคียงกรณีของจิติพร [16] ซึ่งทดสอบพิษของซิงค์ออกไซด์ต่อหนอนแดง แต่มีความแตกต่างเนื่องมาจากความเข้มข้นของสารละลายที่เตรียมได้จริงมีความแตกต่างกัน โดยการทดลองของจิติพรความเข้มข้นของสังกะสีที่เตรียมได้ค่อนข้างต่ำ (3.08-7.62 mg/L) ในขณะที่การทดลองนี้ความเข้มข้นของสังกะสีอยู่ในช่วงที่สูงกว่า (4.79-14.76 mg/L) อีกทั้งช่วงเวลาและฤดูกาลในการทดลองที่แตกต่างกัน โดยจิติพรทดลองในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงกุมภาพันธ์ สำหรับการทดลองนี้อยู่ในช่วงเดือนมิถุนายนถึงสิงหาคม นอกจากนี้ผลของอุณหภูมิขณะทำการทดลอง สถานที่ที่ทำการทดลอง และคุณภาพน้ำที่ใช้ในการทดลองซึ่งมีผลต่อสุขภาพของสัตว์ทดลองรวมถึงค่า pH ของสารละลายยังมีความแตกต่างกัน โดยค่า pH ของการทดลองครั้งนี้เท่ากับ 6.68 ขณะที่ค่า pH ในการทดลองของจิติพรเท่ากับ 6.73 โดยความเป็นกรดทำให้สังกะสีละลายในน้ำได้เพิ่มขึ้น และอยู่ในรูปที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตได้มากขึ้น ด้วย สำหรับค่า LT₅₀ มีความสอดคล้องกับของจิติพรด้วย เช่นกัน คือค่า LT₅₀ มีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นของสังกะสีเพิ่มขึ้น (LT₅₀ = 174.2 ชั่วโมง ที่ความเข้มข้น ZnO 3.08 mg/L และ LT₅₀ = 90.6 ชั่วโมง ที่ความเข้มข้น ZnO 7.62 mg/L)

5. สรุปผลการวิจัย

การทดสอบความเป็นพิษเฉียบพลัน (Acute toxicity) ของสังกะสีในรูป ZnO ต่อหนอนแดงโดยวิธี static bioassay และคำนวณหาค่าความเข้มข้นของ ZnO ที่ทำให้สัตว์ทดลองตาย 50% (LC₅₀) ณ เวลา 48, 72 และ 96 ชั่วโมง พบว่ามีค่าเท่ากับ 21.00, 10.17 และ 5.90 mg/L ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการตาย

ของหนอนแดงมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของ ZnO เพิ่มขึ้น และเมื่อคำนวณหาค่าเวลาที่ทำให้สัตว์ทดลองตาย 50% (LT₅₀) พบว่าที่ความเข้มข้น ZnO 4.795, 5.845, 6.875, 8.755, 11.565 และ 14.765 mg/L มีค่าเท่ากับ 103.01, 96.12, 83.02, 79.30, 73.03 และ 62.31 ชั่วโมง ตามลำดับ

6. ข้อเสนอแนะ

การศึกษารุ่นนี้เป็นการศึกษาเบื้องต้น เพื่อเป็นแนวทางในการจัดการสังกะสีในภาคตะกอน ซึ่งข้อมูลที่ได้ยังไม่สมบูรณ์ ควรต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับความเป็นพิษของสังกะสีแบบกึ่งเรื้อรังต่อหนอนแดงและการสะสมทางชีวภาพของสังกะสีในหนอนแดง และรวมถึงการศึกษาการลดปริมาณของสังกะสีในภาคตะกอน

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีวิทยาเขตปัตตานี ที่สนับสนุนการทำวิจัยนี้

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] สุชาดา วราภรณ์ และ จิตรา สว่างศรี, อุตสาหกรรมยางและผลิตภัณฑ์, กองศึกษาภาวะเศรษฐกิจ อุตสาหกรรม, สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม, 37 น., 2535.
- [2] สะอึ้ง จักษุศิลา, ประโยชน์ของซิงค์ออกไซด์, วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ, 45(138), น. 6-9, 2538.

- [3] วราภรณ์ ขจรไชยกูล, การผลิตยางธรรมชาติ, ศูนย์วิจัยยางสงขลา, สถาบันวิจัยยาง, กรมวิชาการเกษตร, 25 น., 2532.
- [4] Industrial Technology (online). Available: www.rubber-stichting.ind.tno.nl/art6n17.htm. [September 4, 2004].
- [5] Pharm Chula (online). Available: www.pharm.chula.ac.th/osotsala/botanay-food/sub5_4.htm. [March 29, 2006].
- [6] ทรงศักดิ์ สัมไพบูรณ์, สังกะสี (Zn), วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ, 45(138), น. 24-25, 2538
- [7] U.S. Environmental Protection Agency (USEPA), Zinc Oxide; Toxic Chemical Release Reporting; Community Right-ToKnow, Fedral Register 60, pp. 473334-473337, 1995.
- [8] Classification of Zinc Oxide Q&A Document (online). Available: www.jamesmbrown.co.uk/zno/zno_classification.html [September 4, 2004].
- [9] Environmental Bureau of Investigation (online). Available: www.e-b-i.net/ebi/index. [September 4, 2004].
- [10] Chaisuksant, Y., Yu, Q. and Connell, D.W, Internal Lethal Concentrations of Halobenzenes with Fish (*Gambusia affinis*), Ecotoxicology and Environmental Safety, Vol. 37, pp. 66-75, 1997.
- [11] Karntanut, W. and Pascoe, D, The toxicity of Copper, Cadmium and Zinc to Four

- Different Hydra, Chemosphere, Vol. 47(10), pp. 1059-1064, 2002.
- [12] Fargasová, A, Winter Third-to Fourth-instar Larvae of *Chironomus plumosus* as Bioassay Tools for Assessment of Acute Toxicity of Metals and Their Binary Combination, Ecotoxicology and Environmental Safety, Vol. 48 (1), pp. 1-5, 2001.
- [13] Litchfield, J.T., A Method for Rapid Graphic Solution of Time-percent Effect Curves, J. Pharm. Exp. Ther., Vol. 97, pp. 99-113, 1947.
- [14] Litchfield, J.T. and Wilcoxon, F., A Simplified Method of Evaluating dose Effect Experiments. J. pharm. Exp. Ther., Vol. 96, pp. 399-408, 1947.
- [15] พัชรภรณ์ อธิธิโรจนกุล, ผลของอุณหภูมิต่อพิษเฉียบพลันของแคดเมียม สังกะสี และสารละลายผสมร่วมในลูกปลานิล (*Oreochromis niloticus* Linnaeus), วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.
- [16] จิตพร ประชุมวรรณ, การทดสอบความเป็นพิษและการกำจัดสังกะสีโดยจุลินทรีย์ในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตถ่านหินที่บางพารา, งานวิจัยสาขาเคมี - ชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขต ปัตตานี, 2547.