615.907
ว28ก

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์
เรื่อง

" การวัดความร้ายแรงของสารอันตรายโดยใช้ปลาและแพลงค์ตอนพืช " เป็นตัวประเมินผลทางชีววิทยา

" Measurement of Pollutant toxicity by using" fish and phytoplankton as bioassay organisms

เสนอต่อ

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

6 ส.ค. 2529

โดย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วรวิทย์ ชีวาพร หัวหน้าโครงการ
อาจารย์ รุจิวรรณ พานิชชัยกุล
อาจารย์ พรพรรณ เลิศทวีสินธุ์

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
วิทยาเขต พลศึกษา

159140

<u>กิติกรรมประกาศ</u>

- ขอขอบพระคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ที่ได้ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยครั้งนี้ จนสำเร็จลุล่วง
- ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐ อินทรปาณ รองอธิการบดี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ วิทยาเขตพลศึกษา ที่ได้อนุมัติให้ใช้สถานที่ในการวิจัยและให้การสนับสนุนงานวิจัย
- ขอขอบพระคุณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ วิทยาเขตพลศึกษาและคณาจารย์ที่ให้สารสนับสนุนและความร่วมมือในด้านวัสดุอุปกรณ์
- ขอขอบพระคุณ สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ ที่เอื้อเฟื้อตัวอย่างลูกปลาในการทดลองวิจัยครั้งนี้
- ขอขอบพระคุณ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่เอื้อเฟื้อตัวอย่างสาหร่ายในการทดลองวิจัยครั้งนี้

บทคัดย่อ

การทดลองวิจัย "การวัดความร้ายแรงของสารอันตรายโดยใช้ปลาและแพลงค์ตอนพืชเป็นตัวประเมินผลทางชีววิทยา" นี้ ใช้ระบบการทดลองแบบน้ำนิ่ง (Static bioassay) โดยใช้สัตว์ทดลอง 5 ชนิด คือ ปลาหางนกยูง ปลาไน ปลานิล ปลาตะเพียนขาว ปลายี่สกเทศ และ แพลงค์ตอนพืช 3 ชนิด ดังนี้ <u>Chlorella</u> sp , <u>Ankistrodesmus</u> sp และ <u>Scenedesmus</u> sp., ทดลองกับสารอันตราย 10 ชนิด คือ สารทองแดง สังกะสี แคดเมี่ยม ตะกั่ว ปรอท และสารดีดีที บีเอชซี อะเบท พาราควอต และดิลดริน ในการทดลองพบว่าสารอันตรายจำพวกยาปราบศัตรูพืชที่มีผลร้ายแรงมากที่สุด คือ สารพวก Dieldrin และ DDT และที่มีผลน้อยคือ Paraquat และ BHC ส่วนสารจำพวกโลหะหนักที่มีผลร้ายแรงคือสารปรอทและทองแดง และที่มีผลน้อยคือสารพวกสังกะสี ในการทดลองกับแพลงค์ตอนพืชปรากฏว่าสารอันตรายที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของแพลงค์ตอนพืชส่วนใหญ่จะเป็นพวกยาปราบศัตรูพืชมากกว่าพวกโลหะหนัก และนอกจากนี้ยังพบว่าแพลงค์ตอนพืชที่มีขนาดเล็กจะมีความทนทานต่อสารอันตรายน้อยกว่าแพลงค์ตอนพืชที่มีขนาดใหญ่กว่าหรือแพลงค์ตอนพืชที่อยู่กันเป็นกลุ่ม (colony)

สารบัญ

หน้า

บทที่ 1 บทนำ ---------- 1

บทที่ 2 วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง ---------- 20

บทที่ 3 ผลการทดลอง ---------- 29

บทที่ 4 สรุป และ วิจารณ์ ---------- 111

เอกสารอ้างอิง ---------- 121

บทที่ 1 บทนำ

1.1 คำนำ

ในขณะที่ความเจริญก้าวหน้าทางวิชาการและทางเทคนิค ของวิทยาศาสตร์สาขาต่าง ๆ เพิ่มมากขึ้นเป็นลำดับ ทำให้มนุษย์สามารถคิดค้นประดิษฐ์สิ่งอำนวยประโยชน์ให้กับตนเองได้มากขึ้น เช่น มีการประดิษฐ์ยาฆ่าแมลง ผงซักฟอก โซดาไฟ การนำโลหะมาประดิษฐ์เป็นอุปกรณ์ประกอบอาคารบ้านเรือน การนำสารกัมมันตภาพรังสีมาใช้เป็นตัวกำหนดพลังงาน ฯลฯ ซึ่งก็ทำให้กิจการด้านอุตสาหกรรมขยายตัวตามไปด้วย เพื่อเพิ่มผลผลิตให้ทันตามความต้องการ และทำให้มีการใช้กันได้ทั่วไป อย่างไรก็ตามเนื่องจากธรรมชาติของมนุษย์มักจะสนใจแต่ประโยชน์ที่ตนเองจะได้รับมากกว่าที่จะไตร่ตรองถึงผลเสียอันจะเกิดขึ้นในภายหน้า ดังนั้นในการใช้หรือการผลิตสิ่งอำนวยประโยชน์จึงเป็นไปอย่างอิสระ โดยไม่ได้คำนึงว่ายิ่งมีการใช้หรือการผลิตมากขึ้นเท่าใด ก็ย่อมจะมีกากเหลือใช้ของสารประกอบการผลิตหรือกากเหลือใช้ของสารที่ผลิตขึ้นสะสมเป็นสิ่งปฏิกูลมากขึ้นเท่านั้น และกากเหลือใช้เหล่านี้โดยมากแล้วจะกำจัดออกไปกับระบบการระบายน้ำ ซึ่งในที่สุดก็จะไหลซึมเข้าสู่แม่น้ำลำคลองต่าง ๆ ทำให้เกิดภาวะน้ำเสีย กว่าที่มนุษย์จะได้ตระหนักถึงผลเสียอันเกิดจากการมีสารอันตรายต่าง ๆ ลงไปปะปนอยู่ในแม่น้ำลำคลอง ก็ปรากฏว่าทรัพยากรสัตว์น้ำต่าง ๆ ถูกทำลายจนมีปริมาณลดลงเป็นอย่างมากแล้ว และผลเสียที่เกิดขึ้นก็ได้ย้อนกลับมาสู่คนเราด้วย เช่น ทำให้เกิดการขาดแคลนอาหารบริโภค หรือถ้าคนกินปลาและสัตว์น้ำที่มีการสะสมสารอันตรายไว้ในตัว ก็จะทำให้มีการถ่ายทอดสารอันตรายเข้าสู่ร่างกายคน ซึ่งเมื่อสะสมมากเข้าก็จะก่อให้เกิดอันตราย ตัวอย่างเช่น โรคมินามาตะ (Minamata) ที่เกิดขึ้นในประเทศญี่ปุ่น ก็เป็นผลเนื่องมาจากความเป็นพิษของสารปรอท

ปัญหาที่เกี่ยวกับสภาวะน้ำเสียนี้ ในประเทศอเมริกา อังกฤษ และอีกหลาย ๆ ประเทศทางยุโรป ได้มีการศึกษาค้นคว้ากันเป็นอย่างมากแล้ว มีการทดลองใช้สารอันตรายผสมกับอาหารให้สัตว์กินหรือผสมลงในน้ำเลี้ยงสัตว์ แล้วตรวจพิจารณาผลที่เกิดขึ้น ซึ่งก็ทำให้ได้ข้อมูลเป็นหลักฐานประกอบการวางมาตรการวางแผนการป้องกันและแก้ไข เช่น ในอเมริกามีการกำหนดว่า สารอันตรายจากโรงงานอุตสาหกรรมที่จะกำจัดออกไปกับระบบระบายน้ำ ต้อง

มีความเข้มข้นไม่เกิน 0.1 ของ 48 hr.LC_{50} (Sprague 1971) เพราะเป็นระดับความเข้มข้นที่จะไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ สำหรับในเมืองไทย การศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับปัญหาน้ำเสียหรือความร้ายแรงของสารอันตรายที่จะมีผลต่อชีวิตมนุษย์และสัตว์ นับว่ามีน้อยมาก มาตรการหรือกฎเกณฑ์ต่าง ๆ ที่กำหนดไว้ ก็อาศัยตามข้อมูลจากประเทศที่กล่าวมาแล้ว ซึ่งทำให้ไม่ค่อยเป็นที่เชื่อถือและปฏิบัติตาม เพราะไม่มีข้อมูลเป็นหลักฐานยืนยันของเราเอง ดังนั้นจึงสมควรอย่างยิ่งที่จะได้มีการสนับสนุนให้มีการศึกษาวิเคราะห์ถึงอันตรายของสารที่ทำให้เกิดภาวะน้ำเสีย อันจะทำให้ได้ข้อมูลเป็นหลักฐานที่แน่นอน

1.2 ระบบการทดลอง

การที่จะตัดสินลงไปให้แน่นอนว่า สภาวะน้ำเสียในแหล่งน้ำต่าง ๆ อันเกิดจากสิ่งปฏิกูลหรือกากเหลือใช้ของสารหรือวัสดุประกอบการผลิต จากโรงงานอุตสาหกรรมที่ปนออกมากับสิ่งปฏิกูลอื่น ๆ จะก่อให้เกิดอันตรายแก่ชีวิตมนุษย์และสัตว์อย่างไรนั้น นอกเหนือจากการออกไปสำรวจข้อเท็จจริงในธรรมชาติแล้ว การทดลองกับสัตว์มีชีวิตในห้องปฏิบัติการด้วยวิธีการทาง "Bioassay Methods" ก็นับว่ามีความสำคัญอย่างยิ่ง เพราะจะทำให้ได้ข้อมูลที่เด่นชัดมากขึ้น เกี่ยวกับอันตรายหรือความเป็นพิษของสารแต่ละชนิด

1.2.1 การเตรียมอุปกรณ์การทดลอง ในการทดลองศึกษากับสัตว์มีชีวิต อุปกรณ์หรือภาชนะสำหรับการทดลองเลี้ยง ต้องพยายามเลือกให้มีความเหมาะสมกับขนาดและจำนวนของสัตว์ที่จะทดลอง เพื่อสัตว์จะได้สามารถมีการเคลื่อนไหวได้อย่างอิสระ และในการทดลองที่ทำเป็นชุด อุปกรณ์ทุกอย่างควรอยู่ในมาตรฐานเดียวกัน เช่น ชนิดและขนาดของตู้เลี้ยง รูปทรงของภาชนะต่าง ๆ การเลือกอุปกรณ์ควรเป็นชนิดที่มีความคงทน ไม่เสื่อมทำลายได้ง่าย โดยทั่วไปนิยมใช้ตู้เลี้ยงหรือภาชนะที่ทำด้วย perspex plastic และท่อที่นำการไหลเวียนของน้ำก็มักใช้ชนิดที่ทำด้วย tygon หรือ silicon. Berg & Granmo (1973) และ Swedmark et al (1973) แนะนำให้ใช้ภาชนะรูปทรงกระบอก เพราะไม่มีขอบเหลี่ยมเป็นอันตรายต่อสัตว์ โดยเฉพาะในการทดลองกับไข่หรือตัวอ่อน สำหรับอุปกรณ์ที่เคยใช้ในการทดลองกับสารบางอย่างมาแล้ว ต้องล้างให้สะอาดจริง ๆ ก่อนการทดลองด้วยสารชนิดใหม่ เพื่อป้องกันการ

แปดเปื้อนของสารอื่น น้ำที่ใช้ในการทดลองต้องเป็นน้ำที่สะอาด และควรมีการเพิ่มออกซิเจนในน้ำก่อนที่จะนำเข้าสู่ระบบการทดลอง การจัดตั้งอุปกรณ์การทดลองมี 2 ระบบคือ

ก. ระบบน้ำไหล (Continuous Flow System)

และ ข. ระบบน้ำนิ่ง (Static bioassay)

1.2.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน สารที่จัดว่าเป็นสารพิษหรือเป็นอันตรายต่อชีวิตมนุษย์และสัตว์ โดยมากแล้วจะเป็นสารที่ผลิตขึ้นด้วยกรรมวิธีทางเคมี ดังนั้นในการทดลองด้วยสารจำพวกนี้ ผู้ทำการทดลองจำเป็นต้องมีความรู้เกี่ยวกับคุณสมบัติทางเคมีของสารนั้น ๆ ดีพอควร เพื่อจะได้สามารถเตรียมอุปกรณ์การใช้สารได้อย่างถูกต้อง และในการทดลองเกี่ยวกับการใช้สาร อาจทำได้ 3 แบบ โดยการฉีดเข้าไปในตัวสัตว์ หรือผสมในอาหารให้กิน หรือทำเป็นสารละลายให้สัตว์รับสัมผัสภายนอก แต่โดยมากแล้วนิยมทำแบบรับสัมผัสภายนอก ซึ่งการทดลองแบบนี้จะต้องมีการเตรียมสารละลายมาตรฐาน สำหรับนำไปผสมในน้ำที่ใช้เลี้ยงสัตว์

การเตรียมสารละลายมาตรฐาน โดยทั่วไปแล้วจะใช้น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลาย แต่ถ้าสารนั้นไม่ละลายน้ำก็ต้องเลือกตัวทำละลายที่เหมาะสม ซึ่งควรเป็นสารที่ไม่เพิ่มความร้ายแรง เกี่ยวกับความเข้มข้นของสารละลายต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมของปริมาณเนื้อสารกับตัวทำละลาย ปริมาณเนื้อสารที่ใช้ไม่ควรน้อยเกินไป เพราะอาจเกิดสูญหายได้ง่ายขณะการเตรียม หรือไม่ควรเตรียมให้มีความเข้มข้นสูงเกินความจำเป็น ควรคำนึงถึงความเข้มข้นจริง ๆ ที่ต้องการใช้ในการทดลองด้วย ในกรณีที่ใช้ระบบการทดลองเป็นระบบน้ำไหล Berg & Granmo(1973) ได้อธิบายสูตรการคำนวณไว้ดังนี้

ถ้าเป็นสารเดี่ยว

$$\text{ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน} = \frac{a.L}{b.1000} \text{ กรัม/ลิตร}$$

ถ้าเป็นสารผสม

$$\text{ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน} = \frac{a.L}{b.10.m} \text{ กรัม/ลิตร}$$

a = อัตราการไหลของน้ำ มิลลิลิตร/นาที

b = อัตราการไหลของสารละลายมาตรฐาน มิลลิลิตร/นาที

L = ความเข้มข้นที่ต้องการ มิลลิกรัม/ลิตร

m = เปอร์เซนต์ของสารอันตรายแต่ละชนิด

ภาชนะที่ใช้เก็บสารละลายมาตรฐานควรสะอาด และปิดไว้มิชิด เพื่อป้องกันการปะปนโดยสารอื่นจากภายนอก และควรเป็นภาชนะที่ไม่ทำให้เกิดการสลายตัวได้เร็วกว่าปกติ อุปกรณ์ที่ใช้ดูดสารละลายมาตรฐานออกจากภาชนะที่เก็บ ควรเป็น piston pump หรือ microperistallic pump เพราะเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสูงในการควบคุมความเข้มข้นและอัตราการไหล

1.2.3 การเลือกตัวอย่างสัตว์ทดลอง Sprague (1969) กล่าวไว้ว่า ในการทดลองกับปลา การเลือกตัวอย่างควรพิจารณาถึง

ก. ชนิดของปลาที่จะแสดงอาการได้อย่างรวดเร็ว (sensitive species) หลังจากการรับสัมผัสกับสารอันตราย

ข. ชนิดของปลาที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ

ค. ชนิดของปลาที่ถือเป็นชนิดมาตรฐาน (Standard species) คือ เป็นชนิดที่นิยมใช้ในการทดลองทั่ว ๆ ไป เพราะเป็นพวกที่เลี้ยงได้ง่ายในห้องปฏิบัติการ เช่น ปลา goldfish ปลาหางนกยูง เป็นต้น

นอกจากนี้สัตว์ทดลองควรเป็นชนิดที่สังเกตพฤติกรรมต่าง ๆ ได้โดยง่าย ขนาดหรืออายุของสัตว์ก็ควรให้ใกล้เคียงกันมากที่สุด เพื่อจะได้มีการตอบสนองต่อการบีบบังคับทางสรีระ (physiological stress) เหมือน ๆ กัน

1.2.4 การทดลอง การวัดความร้ายแรงของสารอันตราย (toxicants) โดยวิธีการทาง (bioassay โดยทั่วไปแล้ว มีการทดลองได้เป็น 2 แบบคือ

ก. การทดลองความร้ายแรงในขั้นทำลายชีวิต (acute or lethal toxicity) การทดลองแบบนี้จะทำในระยะสั้น ๆ เช่น 2 วัน 4 วัน หรืออย่างมากไม่เกิน 1 อาทิตย์ สารอันตรายที่ใช้มีความเข้มข้นสูงจนถึงขั้นทำลายชีวิตได้

ข. การทดลองความร้ายแรงในขั้นไม่ทำลายชีวิต (chronic or sublethal toxicity) การทดลองแบบนี้ใช้ระยะเวลานานนับเป็นเดือน ๆ หรืออาจมาก

กว่า 1 ปี โดยใช้สารที่มีความเข้มข้นต่ำ แม้จะไม่ถึงขั้นทำลายชีวิต แต่ก็มีอิทธิพลบีบบังคับทางสรีระซึ่งสามารถสังเกตผลได้

สำหรับการศึกษาวิจัยนี้ใช้การทดลองในแบบ ก. คือการทดลองความร้ายแรงในขั้นทำลายชีวิต เนื่องจากระยะเวลาในการศึกษามีจำกัด และเป็นการศึกษาในช่วงเริ่มแรก จึงเหมาะที่จะทดลองในแบบ ก. เสียก่อน สำหรับแบบ ข. จำเป็นที่จะต้องใช้เวลาในการศึกษาระยะยาว ซึ่งจะทำการศึกษาวิจัยต่อไปในภายภาคหน้า

เกี่ยวกับสัตว์ที่จะนำมาทดลอง โดยปกติแล้วถ้าไม่ได้เลี้ยงในห้องปฏิบัติการมาก่อนหลังจากจับมาจากธรรมชาติ ควรเลี้ยงไว้ระยะหนึ่ง (ประมาณหนึ่งอาทิตย์) ก่อนเริ่มการทดลองเพื่อให้สัตว์ได้ปรับตัวให้คุ้นเคยกับสิ่งแวดล้อมใหม่ (acclimation) ในการทดลองใด ๆ ก็ตามสิ่งที่จะขาดไม่ได้ก็คือการทำ control ซึ่งในกรณีนี้การทำ control ก็คือการเลี้ยงสัตว์ในน้ำที่ไม่มีสารอันตรายผสมอยู่ โดยใช้ภาชนะหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ ที่อยู่ในมาตรฐานเดียวกับพวกที่ใช้ทดลองสาร และหลังจากเริ่มการทดลองแล้ว ปัจจัยต่าง ๆ ที่อาจจะเกี่ยวข้องกับอิทธิพลของสารอันตราย ควรมีการตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอ เช่น อุณหภูมิ ความเป็นกรด–ด่าง ปริมาณออกซิเจนในน้ำ ฯลฯ หรือแม้ความเข้มข้นของสารก็ต้องตรวจสอบด้วย ทั้งนี้เพราะสารบางอย่างที่ละลายน้ำได้น้อย อาจมีการจับตัวกับสิ่งแขวนลอยในน้ำ และตกตะกอนลงสู่ก้นภาชนะ ซึ่งจะทำให้ความเป็นพิษของสารในน้ำลดลง ปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้จะได้ใช้เป็นข้อมูลประกอบการอธิบายการทดลอง

1.3 หลักเกณฑ์ในการวัดความร้ายแรงของสารอันตราย

สารอันตรายแต่ละชนิดต่างก็มีความร้ายแรงหรืออิทธิพลแตกต่างกันออกไป ซึ่งเมื่อนำไปทดลองกับสัตว์ สารบางชนิดจะแสดงผลออกมาให้เห็นได้อย่างชัดเจน แต่บางชนิดก็ต้องอาศัยเทคนิคหรือความรู้ทางการแพทย์เข้ามาช่วย จึงจะสามารถตรวจสอบอันตรายที่เกิดขึ้นได้ อย่างไรก็ตามในการทดลองทั่ว ๆ ไปมีหลักเกณฑ์สำหรับที่จะพิจารณาเกี่ยวกับความร้ายแรงของสารอันตรายได้ดังต่อไปนี้

1.3.1 <u>ระยะเวลาที่สัตว์ทดลองสามารถมีชีวิตอยู่ได้</u> หรือที่เรียกว่า survival time ระยะเวลาดังกล่าวนี้หมายถึงระยะเวลาตั้งแต่เริ่มต้นการทดลองจนกระทั่งสัตว์ตาย Jones (1969) ได้อ้างถึง Wurhman (1952) ซึ่งได้แบ่งระยะเวลาการทดลองความร้ายแรงในขั้นทำลายชีวิตออกเป็นช่วงต่าง ๆ คือ

1. ระยะเวลาตั้งแต่เริ่มให้สัตว์ทดลองเข้าไปอยู่ในน้ำที่มีสารอันตราย จนกระทั่งสัตว์มีพฤติกรรมผิดปกติไปโดยสามารถสังเกตเห็นได้ ช่วงเวลานี้ขึ้นกับอิทธิพลของสารอันตรายว่าจะแสดงความเป็นพิษได้เร็วหรือช้า เช่น HCN ซึ่งมีอิทธิพลต่อระบบการหายใจ จะแสดงความเป็นพิษออกมาเร็วมาก โดยสังเกตได้จากการเปลี่ยนแปลงอัตราการหายใจ ถ้าเป็นสารที่มีอิทธิพลต่อระบบทางเดินอาหารจะแสดงความเป็นพิษได้ช้า

2. ระยะเวลาที่สารพิษแสดงอิทธิพลรุนแรงจนทำให้สัตว์เสียการทรงตัว ซึ่งเรียกว่า Manifestation หรือ Overturning time การเสียสมดุลย์หรือเสียการทรงตัว ถ้าเป็นปลาจะสังเกตได้จากลักษณะการว่ายน้ำ โดยมันจะว่ายน้ำในลักษณะตะแคงตัว ส่วนหัวลงต่ำกว่าส่วนหาง และไม่สามารถว่ายทวนน้ำได้ อย่างไรก็ตามเมื่อสัตว์เริ่มแสดงอาการเช่นนี้ ถ้านำไปไว้ในน้ำสะอาดมันจะสามารถฟื้นตัวได้

3. ระยะเวลาที่สัตว์ไม่สามารถฟื้นตัวได้แม้จะนำไปไว้ในน้ำสะอาด การที่สัตว์ฟื้นตัวไม่ได้เช่นนี้ เนื่องจากได้รับอิทธิพลของสารรุนแรงจนถึงขั้นสูงสุดแล้ว

4. ระยะเวลาทั้งหมดของการมีชีวิต โดยถือเอาว่าการตายของสัตว์ทดลอง คือ เมื่อมันหยุดหายใจหรือไม่มีเคลื่อนไหวแต่อย่างไร ไม่ว่าจะกระตุ้นด้วยวิธีใด ๆ ก็ตาม

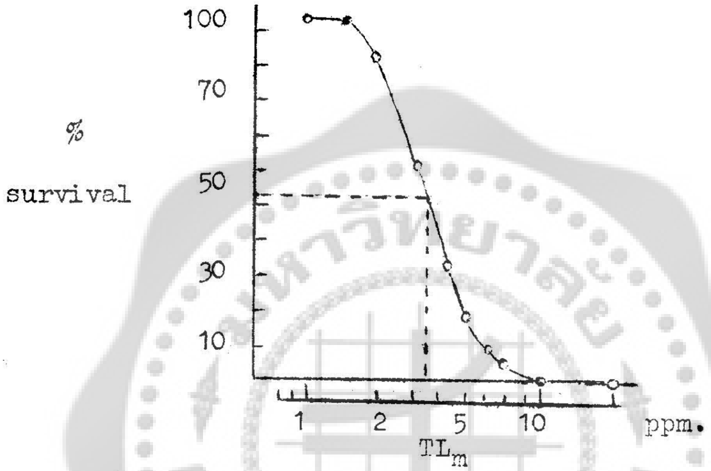
1.3.2 <u>เปอร์เซนต์การตาย</u> ใช้เป็นหลักการพิจารณาความร้ายแรงในขั้นทำลายชีวิตเช่นกัน โดยทั่วไปจะบันทึกผลการตายใน 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง และถ้ามีการตายเกิดขึ้นในพวกที่เป็น control ก็ต้องคำนวณหาเปอร์เซนต์การตายที่ถูกต้องในพวกที่ทดลองสารด้วย

$$\text{เปอร์เซนต์การตายที่ถูกต้อง} = \frac{(Y - Z).100}{100 - Z}$$

Y = เปอร์เซนต์การตายของพวกที่ใช้ทดลองสารของแต่ละความเข้มข้น

Z = เปอร์เซนต์การตายของพวกที่เป็น control

นอกจากหลักเกณฑ์ต่าง ๆ ดังได้กล่าวมาแล้ว ยังอาจใช้ความผิดปกติทางพฤติกรรม ทางสรีระ การเจริญเติบโต การหายใจ การแพร่พันธุ์ เป็นข้อมูลเกี่ยวกับความร้ายแรงของสารอันตรายได้ด้วย



รูปที่ 1.1 แสดง survival curve และค่า TLm

1.4 การเปรียบเทียบความร้ายแรง

โดยทั่วไปในการรายงานเกี่ยวกับความร้ายแรงของสารอันตราย มักจะแสดงออกมาในรูปของ survival curve ซึ่งจะทำให้สามารถพิจารณาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงได้ และในการเปรียบเทียบความร้ายแรงของสารแต่ละชนิด ก็อาจจะพิจารณาจากค่าความชันของเส้นกราฟจากสมการ

$$C^nT = k$$

C = ปริมาณความเข้มข้น มิลลิกรัม/ลิตร

T = ระยะเวลาที่ทำให้เสียการทรงตัว นาที

k = ค่าคงที่

n = ค่าความชันของเส้นกราฟ

Burdick (1957) ได้แก้ไขสมการใหม่โดยนำค่า threshold concentration และ threshold reaction time เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ดังสมการต่อไปนี้

$$(C-a)^n(T-b) = k$$

a = threshold concentration หมายถึงความเข้มข้นสูงสุดของสารที่ไม่เป็นอันตรายในขั้นทำลายชีวิต

b = threshold reaction time หมายถึงระยะเวลาการมีชีวิตน้อยที่สุด

Jones (1969) ได้อธิบายไว้ว่า threshold reaction time จะมีระยะเวลามากน้อยเท่าใดนั้นก็ขึ้นอยู่กับกลไกของสารที่จะไปมีอิทธิพลต่ออวัยวะที่เป็นเป้าหมายช้าหรือเร็ว เช่น HCN ซึ่งสามารถยับยั้งการแลกเปลี่ยนออกซิเจนในเนื้อเยื่อทั่วร่างกายได้ ดังนั้น threshold reaction time ของสารตัวนี้จึงขึ้นอยู่กับว่า จะใช้ระยะเวลานานเท่าใดที่สารจะเข้าสู่ระบบการไหลเวียนโลหิตแล้วเข้าไปสู่อวัยวะที่สำคัญในร่างกาย หรือในบางกรณี เช่น ที่อุณหภูมิปกติปลา trout จะสามารถมีชีวิตอยู่ในน้ำที่ขาดออกซิเจนได้ประมาณ 15-20 นาที ดังนั้นสารอันตรายชนิดใดที่มีอิทธิพลในการยับยั้งการแลกเปลี่ยนออกซิเจนที่เหงือกจึงไม่สามารถฆ่าปลาได้ก่อนระยะเวลานี้ไม่ว่าจะใช้ความเข้มข้นมากเท่าใด

นอกจากการเปรียบเทียบความร้ายแรงของสาร โดยพิจารณาดูจากความชันของเส้นกราฟแล้ว วิธีการเปรียบเทียบที่ยึดถือกันเป็นมาตรฐานคือ การใช้ค่า LC_{50} (median lethal concentration) หรือ TLm (median tolerance limit) หรือ EC_{50} (median effective concentration) เป็นตัวดัชนีในการเปรียบเทียบ (ดูตารางที่ 1,2) โดยค่า LC_{50} หรือ TLm ก็คือความเข้มข้นของสารที่ทำให้สัตว์ทดลองตาย 50 เปอร์เซ็นต์ และ EC_{50} ก็คือความเข้มข้นของสารในขั้นไม่ทำลายชีวิต แต่มีอิทธิพลบีบบังคับทางสรีระต่อสัตว์ทดลอง 50 เปอร์เซ็นต์ ค่าของ LC_{50} หรือ TLm โดยมากจะประเมินจากกราฟ Toxicity curve ที่มีระยะเวลาการทดลองในช่วง 96 ชั่วโมง (ดูรูปที่ 1) Swedmark et al (1973) ได้แสดงการจัดลำดับขั้น LC_{50} ไว้ดังนี้

1 ppm (mg/L)	เป็นพิษมาก
1 - 100 ppm	เป็นพิษ
100 - 1,000 ppm	เป็นพิษปานกลาง
1,000 - 10,000 ppm	เป็นพิษเล็กน้อย

ตารางที่ 1.1 แสดงการเปรียบเทียบค่า LC_{50} (จาก Swedmark *et al* 1973)

Tested material	LC 50 (ppm) 96 h	96 + 48 h
Surfactants :		
Linsar dodecylbenzenesulphonate (anionic)	1.6	< 1.0
Nonylphenol ethoxylate 10 (nonionic)	6	5
Tallow alcohol ethoxylate 10 (nonionic)	0.5	0.5
Oil dispersants:		
Fina-Sol SC	30	30
BP 1100	120	80
Corexit 7664	130	
Fina-Sol OSA-2	180	130
BP 1100 X	> 700	> 700
Corexit 8666	> 950	> 950

ตารางที่ 2.2 แสดงการเปรียบเทียบค่า LC_{50} (จาก Swedmark et al 1973)

Tested material	LC 50 (ppm) 96 h	96 + 48 h
Surfactants:		
Linear dodecylbenzenesulphonate (anionic)	100	25
Nonylphenol ethoxylate 10 (nonionic)	12	10
Tallow alcohol ethoxylate 10 (nonionic)	50	15
Oil dispersants:		
Fina-Sol SC	> 110	90
BP 1100	> 1000	250
Corexit 7664	> 1000	
Fina-Sol OSA-2	> 700	> 700
BP 1100 X	> 700	> 700
Corexit 8666	> 1000	> 1000

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

1.5 ประโยชน์จากการศึกษาค้นคว้า

การศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับอิทธิพลของสารอันตราย ทั้งโดยการทดลองในห้องปฏิบัติการและการสำรวจข้อมูลในธรรมชาติ ทำให้สามารถที่จะทำนายได้ถึงความรุนแรงหรือผลเสียอันเกิดจากการมีสารอันตรายลงไปสะสมอยู่ในแหล่งน้ำ Brown (1968) ได้อธิบายทำนายความรุนแรงของสารอันตรายที่พบในธรรมชาติ โดยการคำนวณเป็น toxic unit ตามกฎเกณฑ์ดังนี้

$$\text{toxic unit} = \frac{\text{actual concentration in solution}}{\text{lethal threshold concentration}}$$

lethal threshold concentration ก็คือปริมาณความเข้มข้นต่ำสุดที่ทำให้สัตว์ทดลองตาย 50 เปอร์เซ็นต์ และจะไม่มีการตายมากกว่านี้อีก Sprague (1971) เรียกค่านี้ว่า incipient LC_{50} ในการคำนวณนี้ถ้าได้ค่า toxic unit มากกว่า 1.0 ก็อาจประมาณได้ว่าสารอันตรายชนิดนั้น ๆ จะมีอิทธิพลทำให้เกิดการตายในธรรมชาติได้มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ แต่ถ้า toxic unit มีค่าน้อยกว่า 1.0 ความร้ายแรงของสารก็จะลดลงเป็นลำดับ และจากการคำนวณดังกล่าวยังทำให้สามารถพิเคราะห์ได้อีกว่า ในแม่น้ำที่สภาวะน้ำเสียโดยสารอันตรายจะมี total toxicity มากน้อยเท่าใด โดยการหาผลรวมของ toxic unit แต่ความร้ายแรงหรือผลเสียที่เกิดจริง ๆ ในแม่น้ำ อาจจะมีความคลาดเคลื่อนไปบ้างจาก total toxicity ที่คำนวณได้ ทั้งนี้เนื่องจากปฏิกริยาเคมีของสารที่อาจจะเป็นไปในแบบเสริมพิษ หรือหักล้างพิษกันก็ได้ อย่างไรก็ตามประโยชน์ที่นับว่าสำคัญมากที่ได้จากการทดลองเกี่ยวกับความร้ายแรงของสารอันตราย คือทำให้ได้ข้อมูลสำหรับ เป็นหลักเกณฑ์ในการวางมาตรการป้องกันและแก้ไขสภาวะน้ำเสีย โดยการกำหนดระดับความเข้มข้นของสารอันตรายที่จะอนุญาตให้มีการระบายออกจากโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งเรียกว่าระดับปลอดภัย หรือ Safe level concentration Sprague(1971) ได้แนะนำหลักเกณฑ์ในการกำหนดระดับปลอดภัยของสาร ไว้ดังนี้

1. ไม่ทำให้เกิดการตาย แม้จะได้รับสัมผัสสารเป็นระยะเวลานาน

2. ไม่ทำให้เกิดอันตรายในแบบเรื้อรังหรือเป็นพิษสะสม

3. เมื่อลงไปรวมกับสารอันตรายชนิดอื่น ๆ แล้วจะไม่ทำให้เกิดอิทธิพลในแบบเสริมพิษกัน (synergism)

สำหรับระดับปลอดภัยของสารในแต่ละประเทศ ก็ได้มีการกำหนดค่าแตกต่างกัน เช่น ในสหรัฐอเมริกาใช้ค่า 0.1 ของ 48 ชั่วโมง LC_{50} ในฮอลแลนด์ เยอรมัน สวิส ใช้ค่า 0.05-0.1 ของ 20 วัน LC_{50} อย่างไรก็ตาม Sprague ได้กล่าวไว้ว่า ระดับปลอดภัยในช่วง 0.05-0.1 toxic unit เหมาะสำหรับสารที่สลายตัวได้เร็ว และไม่ทำให้เกิดอาการเรื้อรัง แต่ถ้าเป็นสารที่สลายตัวได้ช้า และมีอันตรายในแบบเรื้อรังควรกำหนดค่าให้ต่ำกว่านี้

1.6 การสำรวจเอกสาร

ก. ประเภทสารโลหะหนัก (Heavy metals)

ทองแดงและสังกะสีจัดเป็นพวกโลหะหนัก ซึ่งมีพิษต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำมาก โดยที่ทั้งสังกะสีและทองแดงมีพิษรุนแรงต่อปลาและสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง เช่น กุ้ง ปู หอย รวมทั้งพืชและสัตว์ที่อาศัยอยู่ตามหน้าดิน การแพร่กระจายของโลหะทองแดงเป็นไปอย่างกว้างขวาง เนื่องจากการทำเหมืองทองแดงและการใช้ทองแดงเป็นยากำจัดสาหร่ายในแหล่งน้ำ เพราะทองแดงสามารถรวมตัวกับโปรตีน และส่วนประกอบอื่นของสาหร่ายเป็นสารประกอบหนักที่ไม่ละลายน้ำ ซึ่งจะจมอยู่พื้นน้ำในที่สุด แต่ทองแดงก็เป็นพิษอย่างร้ายแรงต่อปลาเช่นกัน จากการทดลองประเมินผลความร้ายแรงของทองแดง พบว่าผลการทดลองหลาย ๆ แห่งให้ค่าที่แตกต่างกันตั้งแต่ช่วง 0.02 ถึง 200 ppm Ellis (1937) ได้ชี้ให้เห็นว่า ทองแดงซัลเฟตเป็นอันตรายต่อระบบการหายใจของปลา โดยในระยะแรกช่องว่างระหว่าง gill filaments จะถูกแทนที่ด้วยอนุภาคตะกอนของทองแดง ทำให้น้ำที่ผ่านช่องเหงือกไม่สามารถเข้าไปถึงเซลของ gill filaments ได้ ระยะที่สองที่ว่างระหว่าง gill lamellae ที่ถูกแทนที่จะทำให้การเคลื่อนไหวของ gill filamente หยุดลง ซึ่งจะส่งผลต่อการไหลเวียนของกระแสเลือด จะนำไปสู่ความล้มเหลวของหัวใจหรือระบบหมุนเวียนโลหิต ซึ่งปลาก็จะตายในที่สุด Semylin (1968) พบว่า Copper naphthenate ที่มีความเข้มข้น 2.5 กรัม/ลิตร จะมีผลทำให้การฟักตัวของไข่ปลา *Salmo salar* ลดลงถึง

30% สำหรับสังกะสี Cairns และ Sparks (1972) พบว่า 0.025 mg Zn/L จะยับยั้งการวางไข่ของปลา blue-gill และทำให้ตัวอ่อนที่เพิ่งฟักใหม่ ๆ ตายได้ Jones (1964) (1964) รายงานว่า $CuSO_4$ และ $ZnSO_4$ ที่ละลายในน้ำอ่อนจะแสดงปฏิกิริยาเสริมพิษกัน (Synergism) เพราะขณะที่ปลา minnow (Pimephales) มีชีวิตรอดได้ประมาณ 8 ppm ชั่วโมง ในสารละลายสังกะสี 8 ppm หรือในสารละลายทองแดง 0.2 ppm ส่วนสารละลายผสมซึ่งประกอบด้วย 1 ppm สังกะสี และ 0.025 ppm ทองแดง จะมีพิษรุนแรงมากกว่าในสารละลายสังกะสี 8 ppm หรือสารละลายทองแดง 0.2 ppm อย่างใดอย่างหนึ่ง. Lewis และ Lewis (1971) รายงานว่าทั้งทองแดงสังกะสีจะทำให้ความเข้มข้นของเกลือในน้ำเลือด (blood serum) ของปลา Catfish (<u>Ictalurus punctatus</u>) และปลา golden shiner (<u>Notemigonus crysoleucus</u>) ลดลง การเปลี่ยนแปลงของ ionic content ในน้ำเลือดนั้นจะทำให้ปลาอ่อนแอลงและอาจทำให้ปลาตายได้ การทดลองในออสเตรเลีย โดย Affleck (1952) ได้แสดงให้เห็นว่า สังกะสีเป็นพิษอย่างร้ายแรงต่อปลา ova และลูกปลา rainbow trout และปลา brown trout การทดลองของ Affleck เริ่มจากการสังเกตเห็นการตายอย่างกระทันหันของฝูงลูกปลาในบ่อพักปลาเทร้าต์ ซึ่งใช้ท่อโลหะเคลือบสังกะสีในการให้น้ำ เขาพบว่าจำนวนลูกปลาเทร้าต 286 ตัวจาก 626 ตัว รอดชีวิตเกินกว่า 28 วัน ในบ่อคอนกรีต ซึ่งใช้ท่อโลหะเคลือบ แต่ถ้าเปลี่ยนเป็นท่อยางพบอัตรารอดเพิ่มขึ้นเป็น 98% ซึ่งในกรณีแรกตรวจพบว่ามีสังกะสีอยู่ในน้ำ 0.01 ppm และ กรณีหลังพบ 0.003 ppm Klein <u>et</u> <u>al</u>, (1967) พบว่าแคลเซียมสามารถลดความเป็นพิษของสังกะสีได้โดยทดสอบกับปลา rainbow trout พบว่าที่น้ำกระด้างมาก (320 ppm $CaCO_3$) พิษของสังกะสีจะลดลงอย่างรวดเร็ว แม้ว่าความเข้มข้น 5 ppm ก็ไม่เป็นอันตราย แต่ในน้ำอ่อน (12 ppm $CaCO_3$) สังกะสีที่มีความเข้มข้นเพียง 0.5 ppm ยังคงเป็นพิษต่อปลา. Jones (1938) ได้แสดงให้เห็นว่าสารละลายสังกะสีซัลเฟตเป็นอันตรายต่อปลา stickleback ที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า 0.3 ppmZn และที่ความเข้มข้น 0.1 ppm สำหรับสารละลายตะกั่ว เมื่อใช้น้ำอ่อนในการทำสารละลาย แต่ถ้าสารละลายมีเกลือแคลเซียมอยู่จะทำให้ความเป็นพิษของตะกั่วและสังกะสีลดลงมาก เช่น สารละลายตะกั่วไนเตรต 1.0 ppm จะทำให้ปลา stickleback ตายใน

18–24 ชั่วโมง แต่ถ้าเติม 50 ppm ของแคลเซียมไนเตรตหรือแคลเซียมคลอไรด์ จะยืดอายุการอยู่รอดออกไปอีก 10 วัน Water Pollution Research (1959) รายงานว่าสารละลายตะกั่วที่เตรียมโดยใช้น้ำอ่อนเป็นพิษต่อปลา rainbow trout ที่ระดับความเข้มข้นต่ำกว่า 1 ppm สำหรับความเข้มข้นของตะกั่วในสารละลาย พบว่ามีความสัมพันธ์กับความกระด้างของน้ำ จากการทดลองในสารละลายตะกั่วไนเตรต 8 ppm พบว่าที่ความกระด้าง 14 ppm $CaCO_3$ ตะกั่วทั้งหมดยังคงอยู่ในสารละลาย ถ้าความกระด้าง 27 ppm ตะกั่วบางส่วนจะตกตะกอน ถ้าความกระด้าง 53 ppm ตะกั่วส่วนใหญ่จะตกตะกอนและจะยังคงอยู่ในสารละลายไม่เกิน 1.6 ppm ตะกั่วส่วนที่ตกตะกอนไม่พบว่าแสดงความเป็นพิษ Carpenter (1925) ศึกษาหาสาเหตุมลภาวะจากตะกั่วบริเวณแม่น้ำ Dovey ใน Wales พบว่าปลาซึ่งตายในสารละลายผสมตะกั่วนั้นระบบหายใจจะถูกทำลาย ลำตัวจะมีเมือกปกคลุม ภายใน operculum มีเมือกปกคลุมค่อนข้างหนา เมื่อนำปลานี้มาล้างด้วยน้ำกลั่นและเติมสารละลายเจือจางของแอมโมเนียซัลไฟด์ พบว่าเมือกจะกลายเป็นสีดำ แสดงว่ามีตะกั่วอยู่บริเวณดังกล่าว Kuriya et al (1969) รายงานว่าสารละลายตะกั่วไนเตรตเข้มข้นมากกว่า 3 ppm จะทำให้เป็นอันตรายกับปลา rainbow trout ภายในเวลา 23–24 ชม. และภายใน 48 ชม. ค่า TLm (median tolerance limit) มีค่าอยู่ระหว่าง 1–3 ppm. จากการทดลองของ Kuriya พบว่าส่วนใหญ่ของตะกั่วจะสะสมที่บริเวณเหงือกและผิวหนัง ในการทดลองดูอัตราการหายใจของปลาในสารละลายที่มีสารพิษของโลหะหนัก. Jones (1947) ได้ทดลองในสารละลาย 0.002 $NCuSO_4$ และ 0.005 N $Pb(NO_3)_2$ กับปลา stickleback ซึ่งปกติจะหายใจ 120 ครั้ง/นาทีที่ 17°เซนติเกรด เมื่อเติมสารพิษลงไปในภาชนะทดลอง พบว่าการเคลื่อนไหวของ operculum ของปลาเพิ่มขึ้น อัตราการใช้ออกซิเจนเพิ่ม ต่อมาการเคลื่อนไหวของระบบหายใจจะเพิ่มมากขึ้นและเร็วขึ้นเรื่อย ๆ สักระยะหนึ่งจะหยุดพัก หลังจากนั้นอัตราการเคลื่อนไหวของ operculum จะขึ้นลงระยะหนึ่ง เมื่ออัตราการใช้ออกซิเจนเพิ่มถึงประมาณ 20 เปอร์เซนต์ของอัตราปกติ ปลาจะตายในที่สุด. Schweiger (1957) ได้ทดลองโดยใช้เกลือของปรอท แคดเมียม นิเกิล โคบอลท์ และแมงกานีส พบว่าความเป็นพิษของมันลดลงตามลำดับข้างต้น Doudoroff และ Katz (1953) ได้จัดลำดับความเป็นพิษของโลหะต่อปลาไหล และ

Orizias latipes ดังนี้

		Cu		Sn								K		
Hg	>	Zn	>	Al	>	Fe^{2+}	>	Ba	>	Mn	>	Ca	>	Na
		Cd		Ni								Mg		
		Fe^{3+}												

ตารางที่ 1.3 แสดงความเข้มข้นระดับทำลายชีวิตของเกลือของโลหะ

Salt	Fish tested	Lethal concentration (ppm)	Exposure time (hour)	Ref
Cadmium Chloride	gold fish	0.017	9-18	Powers(1917)
"	minnow	0.9	96	Tarzwell(1960)
Cadmium nitrate	stickleback	0.3 Cd	190	Jones(1939)
Copper nitrate	salmon	0.18	?	State of Washington(1944)
"	stickleback	0.02 Cu	192	Jones(1938)
"	rainbow trout	0.08 Cu	20	Water Pollution Research(1959)
Copper sulfate	stickleback	0.03 Cu	160	Jones(1939)
"	minnow	0.05 Cu	96	Tarzwell(1960)
"	bluegill	0.2 Cu	96	"
"	minnow	1.0 Cu	80	Liepolt(1958)
Cupric chloride	goldfish	0.019	3-7	Powers(1917)
Lead chloride	minnow	2.4 Pb	96	Tarzwell(1960)

Salt	Fish tested	Lethal concentration (ppm)	Exposure time (hour)	Ref
Lead nitrate	minnow	0.33 Pb	?	Carpenter(1927)
"	stickleback	0.33 Pb	?	"
"	brown trout	0.33 Pb	?	"
"	stickleback	0.1 Pb	336	Jones(1938)
"	Gold fish	10	1-2	"
"	rainbow trout	1.0 Pb	100	Water Pol.Res. (1959)
Mercuric chloride	"	0.01 Hg	204	Jones(1939)
"	"	0.15 Hg	168	Schweiger(1957)
"	"	1.0 Hg	600	Boetius(1960-61)
Zinc sulfate	stickleback	0.3 Zn	204	Jones(1938)
"	gold fish	100	120	Ellis(1937)
"	rainbow trout	0.5	64	Lloyd(1960)

ข. ประเภทสาร Organic pollutants

หลังสงครามโลกครั้งที่ 2 DDT ได้ถูกใช้เป็นยาฆ่าแมลงอย่างกว้างขวาง ต่อมาได้มีการผลิตสารคลอรีนเนตเตดไฮโดรคาร์บอน (chorinated hydrocarbon) ชนิดใหม่ ๆ ขึ้นมาเพื่อใช้เป็นยาฆ่าแมลง ในสหรัฐอเมริกาได้มีการผลิตสาร DDT ในปี 1944 ประมาณ 4,500 ตัน และปี 1955 เพิ่มการผลิตกว่า 50,000 ตัน ได้มีการตรวจสอบพบว่าสารเหล่านี้เป็นอันตรายอย่างใหญ่หลวงต่อสิ่งมีชีวิต. Pielou (1946) เป็นผู้เริ่มการทดลองผลของสาร DDT

ละลายในพาราฟีนต่อปลา Kafue bream (<u>Tilapia kafuensis</u>) พบว่า แม้เจือจางถึง 1/72,000,000 เท่า ช่วงระยะเวลาของการอยู่รอด (survival time) ของปลามีเพียง 4 – 5 วัน และที่เจือจาง 1/36,000,000 เท่า ไม่มีปลาตัวใดอยู่รอดเกิน 2 วัน. Langford. (1949) ได้ทดลองผลของ DDT ต่อปลา โดยการเติมสารอัลกอฮอล์ผสม DDT ลงในน้ำ เพื่อที่จะให้กระจายเป็นอนุภาคเล็ก ๆ แขวนลอยอยู่ได้ในน้ำ เขาได้ทดลองกับปลาcreek chub, redbelly dace, common suckers และ speckled trout. พบว่าที่ 0.1 p.p.m เป็นอันตรายถึงชีวิตต่อปลาทั้ง 4 ชนิดภายใน 13 ชม. ที่ 0.05 p.p.m มีช่วงระยะเวลาการอยู่รอดระหว่าง 6 ถึง 20 ชม. และที่ 0.01 p.p.m จาก 7 ถึง 55 ชม.และพบว่าปลา speckled trout เป็นปลาที่อ่อนไหวต่อสาร DDT มากที่สุด. Langford สรุปว่า ช่วงความเข้มข้นที่ไม่เป็นอันตรายสำหรับปลา speckled trout และ creek chub คือ 0.005 – 0.01 p.p.m และสำหรับ common sucker ประมาณ 0.001 p.p.m Gagnon (1958) ได้แสดงให้เห็นว่าขีดที่จะเป็นอันตรายต่อปลา Atlantic salmon คือความเข้มข้นประมาณ 0.07 p.p.m และ Hatch (1957) พบว่า ที่ความเข้มข้น 0.07 p.p.m ปลาดังกล่าวมีช่วงระยะเวลาการอยู่รอดเพียง 36 ชม. มีรายงานอีกมากมายซึ่งล้วนแสดงให้เห็นถึงความเป็นพิษของ DDT ต่อปลา. Langford (1949) พบว่าการทดลองพิษของ DDT โดยใช้วิธีกระจายสาร DDT ให้เป็นแผ่นฟิล์มน้ำมันบนผิวน้ำ เป็นอันตรายต่อปลาเนื่องจากอุปนิสัยของปลาที่จะโผล่ขึ้นมาบริเวณผิวน้ำ จากการทดลองกับปลา creek chub พบว่าบริเวณปากและเหงือกแปดเปื้อนด้วยสารพิษ DDT

Lawrence (1950) ใช้ปลา fingerling bluegills และ largemouth bass ในการทดลองกับ DDT, toxaphene, chlordane และ BHC พบว่าสาร toxaphene มีพิษสูงสุดและ chlordane มีพิษน้อยสุด Mayhew (1955) ใช้ปลา rainbow trout ทดลองกับยาฆ่าแมลง DDT, chlordane, heptachlor, methoxychlor, aldrin, toxapheneและ dieldrin.ความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถฆ่าปลาหมด 100% ภายใน 24 ชม. สำหรับ DDT และ chlordane 0.5 p.p.m,

heptachlor 0.25 ppm. methoxychlor, aldrin, dieldrin และ toxaphene 0.05 ppm. จากการศึกษาของ Henderson, Pickering และ Tarzwell (1959) ถึงผลของ aldrin, dieldrin, endrin, chlordane, heptachlor, toxaphene, methoxychlor, DDT, lindane และ BHC พบว่า endrin เป็นสารที่มีพิษร้ายแรงที่สุด และ BHC เป็นสารที่มีพิษน้อยที่สุด. Mayhew (1955) ได้สังเกตอาการของปลาที่ถูกทดลอง เห็นว่าปลาแสดงอาการระคายเคือง ว่ายน้ำสะเปะสะปะไม่มีทิศทาง เสียการทรงตัว และเกิดการยึดหดของกล้ามเนื้อ และตายในที่สุด

ตารางที่ 1.4 แสดงความเข้มข้นของยาฆ่าแมลงบางชนิดที่เป็นอันตรายต่อชีวิต

ยาฆ่าแมลง	ปลาทดลอง	ความเข้มข้น (ppm)	ระยะเวลาสัมผัสสาร	อ้างอิง
BHC	bluegill	0.79	96 ชม.	Henderson <u>et al</u> (1960)
"	fathead minnow	2.30	96 "	"
"	gold fish	2.30	96 "	"
DDT	blue gill	0.016	96 "	"
"	fathead minnow	0.032	96 "	"
"	gold fish	0.027	96 "	"
"	guppy	0.043	96 "	"
"	rainbow trout	0.5	24 "	Mayhew (1955)
"	salmon	0.08	36 "	Hatch (1957)
Dieldrin	blue gill	0.0079	96 "	Henderson <u>et al</u> (1960)
"	channel cat	< 2.5	96 "	Clemens (1959)
"	fathead minnow	0.016	96 "	Henderson <u>et al</u> (1960)

ยาฆ่าแมลง	ปลาทดลอง	ความเข้มข้น(ppm)	ระยะเวลาสัมผัสสาร	อ้างอิง
Dieldrin	goldfish	0.037	96 ชม.	Henderson et al (1960)
"	guppy	0.022	96 "	"

บทที่ 2 วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

ในการศึกษาวิจัยนี้ใช้ระบบการทดลองแบบน้ำนิ่ง (Static bioassay) และในการเปรียบเทียบความร้ายแรงของสารอันตราย ใช้วิธีการเปรียบเทียบจากค่า LC_{50} หรือ TLm ที่ประเมินได้จาก Survival curve ส่วนในกรณีที่ใช้แพลงค์ตอนพืชเป็นตัวทดลอง ใช้วิธีสังเกตดูผลของสารอันตรายในระดับความเข้มข้นต่าง ๆ คือการเจริญเติบโตของแพลงค์ตอนพืช

2.1 สัตว์และพืชที่ใช้ในการทดลอง

ในการทดลอง ใช้ปลาเป็นสัตว์ทดลองจำนวน 5 ชนิด และใช้แพลงค์ตอนพืช 3 ชนิด เป็นพืชทดลอง ดังนี้

- สัตว์ที่ใช้ในการทดลอง ใช้ปลาน้ำจืด 5 ชนิด ดังนี้
    1. ปลาหางนกยูง (*Lebistes recticulatus*)
    2. ปลาไน (*Cyprinus carpio*)
    3. ปลานิล (*Tilapia nilotica*)
    4. ปลาตะเพียนขาว (*Puntius gonionotus*)
    5. ปลายี่สกเทศ (*Labeo Rohita*)
- แพลงค์ตอนพืชที่ใช้ 3 ชนิด ดังนี้
    1. *Chlorella* sp.
    2. *Ankistrokesmus* sp.
    3. *Scenedesmus* sp.

2.2 การเตรียม

สารอันตรายที่ใช้ในการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

ก. ประเภทโลหะหนัก (Heavy metals) ใช้สาร 5 ชนิดคือ
ทองแดง สังกะสี แคดเมี่ยม ตะกั่ว และปรอท

ข. ประเภทสารเ[illegible]

ข. <u>ประเภทสารมลพิษอินทรีย์</u> (Organic Pollutants) ใช้สาร 5 ชนิดคือ ดีดีที (D.D.T) บีเอชซี (B.H.C) อะเบท (Abate) พาราควอต (Paraquat) และดิลดริน (Dieldrin)

สำหรับวิธีการเตรียมสารอันตรายต่าง ๆ เพื่อที่จะใช้ในการทดลองสามารถเตรียมได้ดังต่อไปนี้

1. <u>สารละลายทองแดง (Cu)</u> ใช้สารประกอบ $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ หนัก 3.929 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร จะได้สารละลายเข้มข้น

   1 mL = 1 mg Cu

2. <u>สารละลายแคดเมี่ยม (Cd)</u> ใช้สารประกอบ $CdCl_2$ $2.5H_2O$ หนัก 2.031 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร จะได้สารละลายเข้มข้น

   1 mL = 1 mg Cd

3. <u>สารละลายตะกั่ว (Pb)</u> ใช้สารประกอบ $PbSO_4$ หนัก 0.6832 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร จะได้สารละลายเข้มข้น

   1 mL = 1 mg Pb

4. <u>สารละลายปรอท (Hg)</u> ใช้สารประกอบ $HgCl_2$ หนัก 1.3535 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร จะได้สารละลายเข้มข้น

   1 mL = 1 mg Hg

5. <u>สารละลายสังกะสี (Zn)</u> ใช้สารประกอบ $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ หนัก 4.3965 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร จะได้สารละลายเข้มข้น

   1 mL = 1 mg Zn

6. <u>สารละลายพาราควอต (Paraquat)</u> ใช้สารละลาย "กรัมม็อกโซน" ผลิตโดยบริษัท อีส เอเชียติ๊ก (ประเทศไทย) จำกัด ซึ่งมีพาราควอต (1,1 - dimethyl 1-4,4-bipyridylium ในรูปของเกลือคลอไรด์) เป็น active ingredient อยู่ 24.4% w/v ดูดสารละลายดังกล่าวข้างต้นมา 4.1 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นเป็น 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลายเข้มข้น

159140

1 mL = 10 mg Paraquat

7. สารละลาย BHC (Benzen hexachloride) ใช้สาร BHC หนัก 100 มิลลิกรัม ละลายใน ethanol 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลายเข้มข้น 1 mL = 1 mg BHC

8. สารละลาย DDT ใช้สาร DDT หนัก 100 มิลลิกรัม ละลายใน hexane 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลายเข้มข้น

   1 mL = 1 mg DDT

9. สารละลาย Abate ใช้สาร Abate หนัก 100 มิลลิกรัม ละลายใน hexane 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลายเข้มข้น

   1 mL = 1 mg Abate

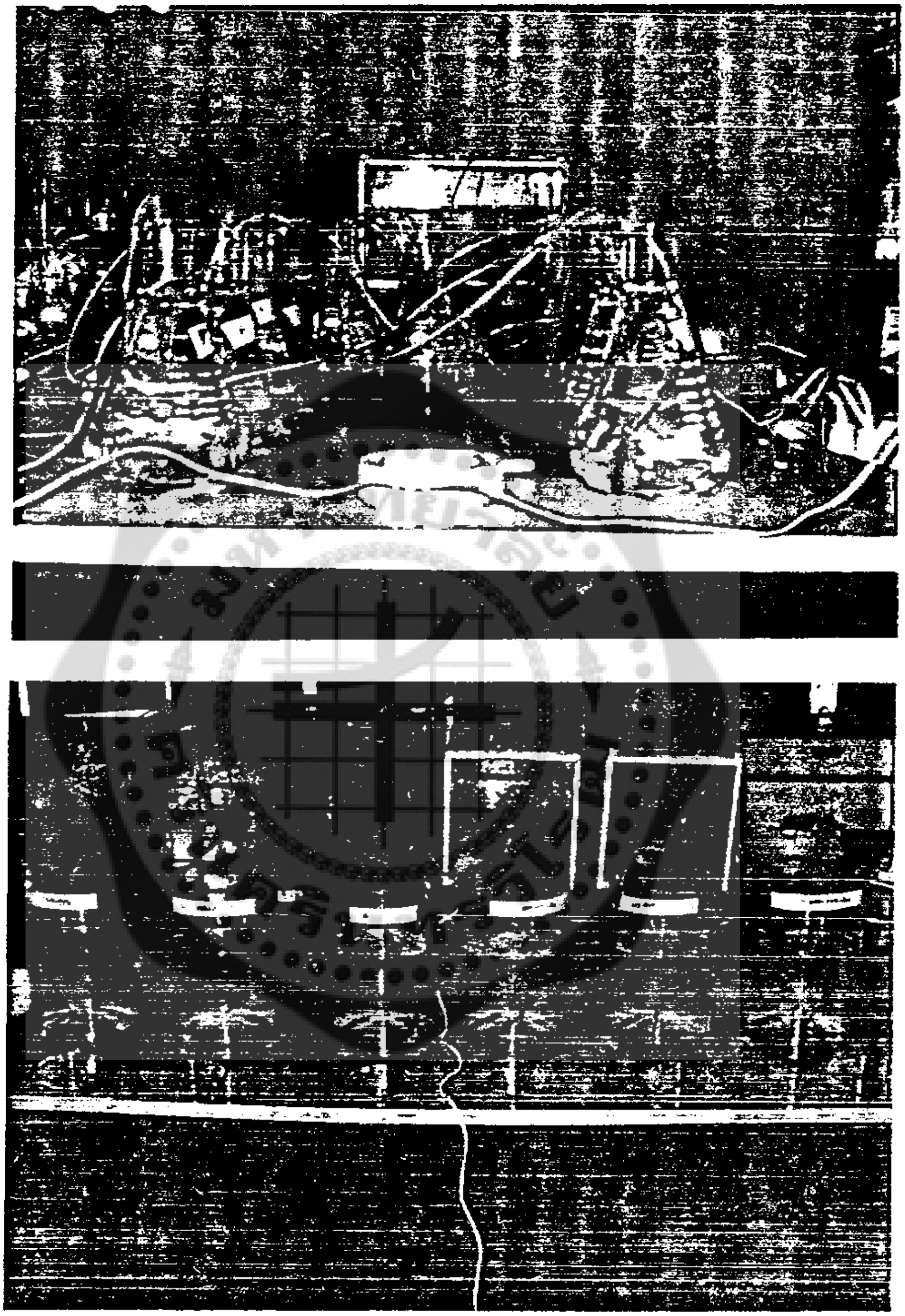
10. สารละลาย Dieldrin ใช้สาร Dieldrin หนัก 100 มิลลิกรัม ละลายใน hexane 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลายเข้มข้น

   1 mL = 1 mg Dieldrin

2.3 วิธีดำเนินการทดลองโดยใช้ปลาเป็นตัวประเมินผล

การทดลองวิจัยนี้ใช้ปลาเป็นตัวประเมินผลทั้งหมด 5 ชนิด คือ ปลาหางนกยูง ปลาไน ปลานิล ปลาตะเพียนขาว และปลายี่สกเทศ การทดลองทำเป็นขั้นตอนดังนี้

1. นำตัวอย่างปลาที่จะทดลองมาเลี้ยงให้ปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมใหม่ (acclimation) เป็นระยะเวลา 2-4 วัน ก่อนทำการทดลอง
2. นำตัวอย่างปลามาทดลองหาช่วงวิกฤต (Preliminary test for critical range) หมายถึงการทดลองหาช่วงความเข้มข้นต่ำสุดที่ปลาตายน้อยกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ภายใน 96 ชั่วโมง เรียกว่า "Lower limit" และความเข้มข้นสูงสุดที่ปลาตายมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ภายใน 24 ชั่วโมง เรียกว่า "Upper limit" การทดลองในช่วงนี้ใช้จำนวนตัวอย่างปลาต่อสารละลายความเข้มข้นต่าง ๆ ความเข้มข้นละ 4 ตัว โดยทำการทดลองในขวดชมพู่ขนาด 1 ลิตร (ดูรูปที่2.1) พร้อมกับมีสายยางพ่นอากาศ เพื่อป้องกันการขาดออกซิเจน



รูปที่ 2.1 แสดงการจัดอุปกรณ์การทดลองวัดความร้ายแรงของสารอันตรายโดยใช้ปลาเป็นตัวประเมินผล

ในน้ำตลอดเวลา

3. บันทึกผลการทดลองในระยะนี้ทุก ๆ 1 ชั่วโมง จนถึงชั่วโมงที่ 6 หลังจากนั้น บันทึกผลทุกระยะ 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง ตามลำดับ นำผลที่ได้มาประเมินหาช่วงวิกฤต
4. ขั้นตอนนี้เป็นการทดลองเพื่อหา survival curve และ TLm (Median tolerance limit) โดยนำเอาช่วงวิกฤตมาแบ่งออกเป็นระยะ ๆ 5 ระยะ หรือ 5 ความเข้มข้น ซึ่งมักนิยมแบ่งให้ห่างกันตามสเกลลอการิทึม เพื่อผลการทดลองจะสามารถสร้าง survival curve ได้ดียิ่งขึ้น

   เมื่อได้ความเข้มข้นทั้ง 5 แล้ว จัดการเตรียมสารละลายตามความเข้มข้นต่าง ๆ อย่างละ 3 ลิตร ใส่ในขวดโหลแก้วขนาด 4 ลิตร (ดูรูปที่ 2.1) และใส่สายยางพ่นอากาศตลอดเวลา จำนวนตัวอย่างปลาทดลองในระยะนี้ ใช้ความเข้มข้นละ 10 ตัว
5. ทำการบันทึกผลจำนวนปลาที่ตายที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ในช่วง 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมงตามลำดับ ตลอดจนคอยสังเกตและบันทึกพฤติกรรมของปลาทุก ๆ ระยะ นำผลการทดลองที่ได้ไปเขียนกราฟ survival curve และหาค่า TLm เพื่อเปรียบเทียบความร้ายแรงของสารแต่ละชนิดต่อไป

2.4 <u>วิธีดำเนินการทดลองโดยใช้แพลงค์ตอนพืชเป็นตัวประเมินผล</u>

แพลงค์ตอนพืชที่ใช้ในการทดลองมี 3 ชนิดคือ <u>Chlorella</u> sp. <u>Ankistrodesmus</u> sp. และ <u>Scenedesmus</u> sp. โดยทำการทดลองเป็นขั้นตอนดังนี้

1. ทดลองเพาะเลี้ยงแพลงค์ตอนพืช ในตู้เพาะเลี้ยง ซึ่งให้แสงสว่างโดยใช้หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ขนาด 40 วัตต์ หกดวง เปิดไฟให้แสงสว่างวันละ 12 ชั่วโมง สูตรอาหารที่ใช้ทดลองเพาะเลี้ยง มีดังนี้

Major elements ใช้เพียง 1 mL/L ในมีเดียสุดท้าย

$NaNO_3$	15% (w/v)
$NaH_2PO_4 \cdot H_2O$	1% (w/v)

NH_4Cl 5.3% (w/v)

$Na_2SiO_3 \cdot 9H_2O$ 3% (w/v)

Trace metal

Primary stock

$CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 1.96% (w/v)

$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ 4.4% (w/v)

($ZnCl_2 \cdot 7H_2O$) 2.09% (w/v)

$CoCl_2 \cdot 6H_2O$ 2.0% (w/v)

$MnCl_2 \cdot 4H_2O$ 36% (w/v)

$Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$ 1.26% (w/v)

เอา primary stock อย่างละ 1 mL ใส่ในน้ำกลั่น 1,000 mL ที่มี ferric sequestrene 10 gm ได้ stock solution ของ Trace metal และใช้ 1 mL ต่อลิตรของมีเดียสุดท้าย

สารวิตามิน

- Biotin primary stock 0.1 mg/mL (ชั่งหนัก 10 mg ละลายในน้ำกลั่น 100 mL) นำมาแช่แข็งและ sterile
- B_{12} primary stock ชั่งมา 10 mg ละลายในน้ำกลั่น 10 mL แช่แข็งและ sterile
- ทำ stock solution ของวิตามิน โดย

  เอา Biotin primary stock มา 1.0 mL และ

  เอา B_{12} primary stock มา 0.1 mL

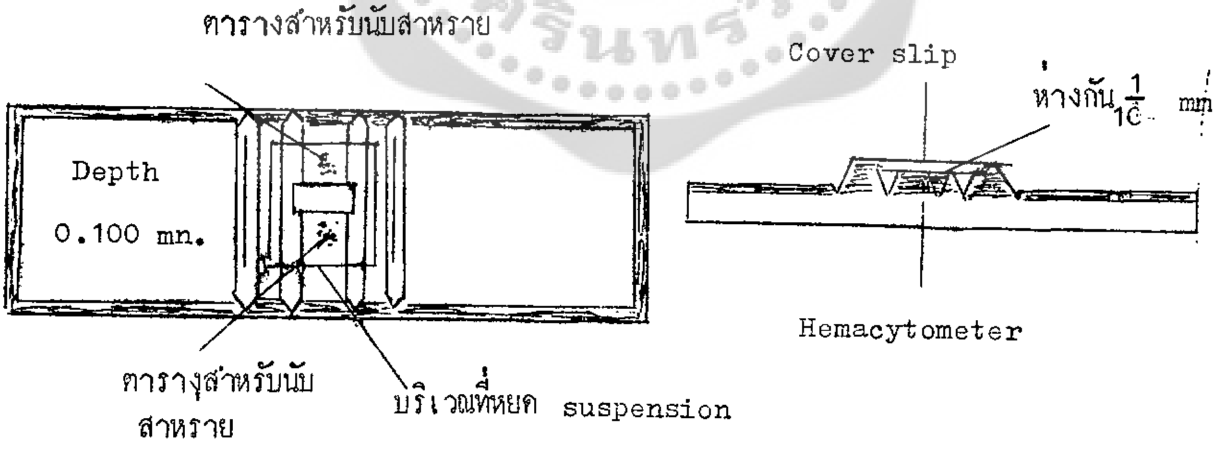
  ทำให้เป็น 100 mL แล้วเติม Thiamine hydrochloride 20 mg ก็จะได้ stock solution ของวิตามิน เก็บในภาชนะฝาปิดแน่น ใช้ 1 mL/L ของมีเดียสุดท้าย

2. เมื่อเพาะเลี้ยงไว้แล้ว ทำการเพาะจนได้ปริมาณมาก แบ่งใส่ขวดชมภู่ 250 มล. ใบละ 100 มล. เขย่าและปิดด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ แล้วเติมสารอันตรายที่เตรียมไว้ลงไปตามความเข้มข้นต่าง ๆ ที่กำหนดไว้ ทำการนับเซลทุก 24 ชม. และบันทึกผลโดยการนับเซล

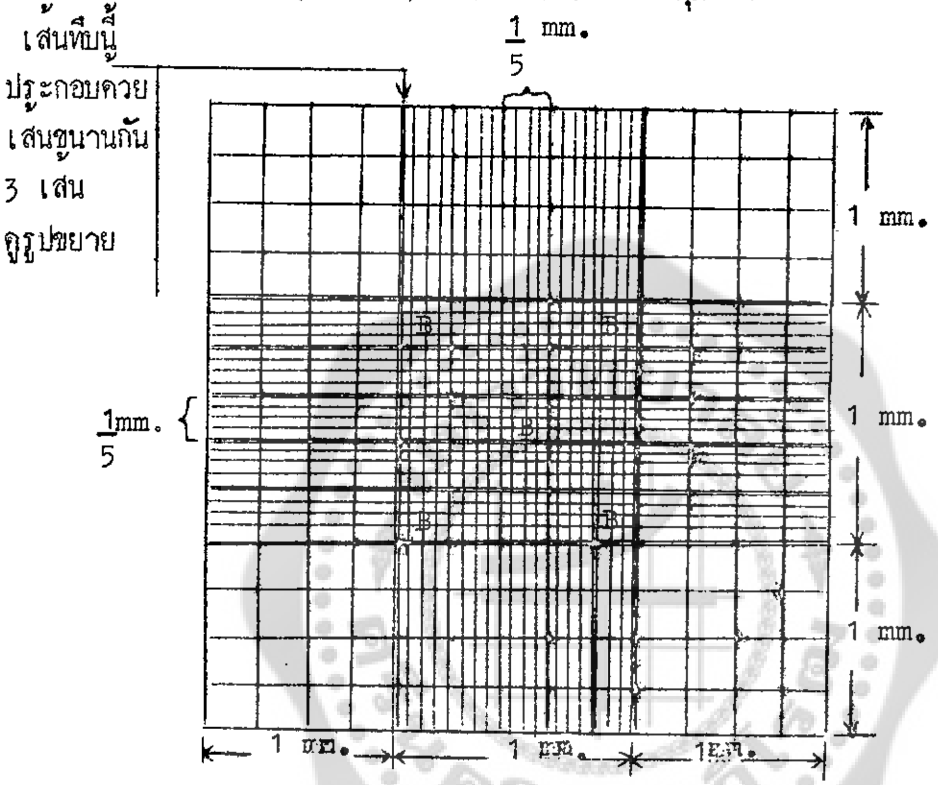
3. การนับเซลใช้วิธีการนับโดยตรง (direct count) โดยใช้ haemacytometer ดังนี้

   ก. เตรียม hemacytometer ให้สะอาด แล้ววาง cover slip บน hemacytometer ให้เรียบร้อย

   ข. ใช้ pipette ขนาด 1 มิลลิลิตร ดูด suspension ของสาหร่าย หยดที่ขอบของ cover slip ทั้ง 2 ข้างพยายามอย่าให้มีฟองอากาศและอย่าให้ suspension ที่หยดล้นลงไปในร่องของ hemacytometer ทั้ง 2 ข้าง

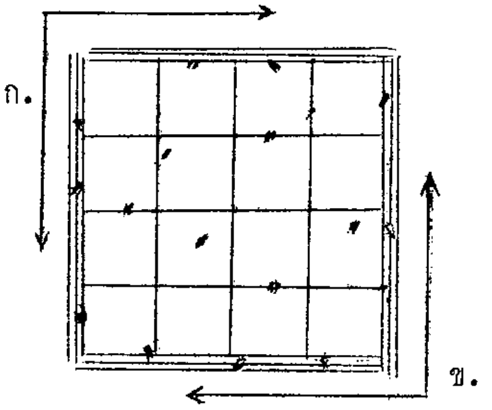


ค. นำไปนับจำนวนสาหร่ายโดยใช้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 400 เท่า ปรับ Focus ให้เห็นตารางเล็ก ๆ ใน hemacytometer (อักษร B) ซึ่ง 1 ช่องจะมีตารางเล็ก ๆ ภายในอีก 16 ช่อง ให้นับทั้งหมด 5 ช่อง (อักษร B) อาจนับในแนวทะแยงมุมก็ได้



รูปขยายตารางจาก Hemacytometer

ง. ถ้าหากมีเซลของสาหร่ายอยู่ค่าบเส้นระหว่างช่อง (คือเส้นทั้งสามเส้นขนานกัน) ให้นับในแนวตั้งฉากมุมใดมุมหนึ่ง ทั้ง 4 ช่องเหมือนกัน ตัวอย่างเช่น



รูปขยายจาก 1 ช่องที่มีอักษร B การนับเซลที่อยู่ค่าบเส้นให้นับตามแนวตั้งฉากแบบ ก. หรือ ข. เลือกเอาอย่างใดอย่างหนึ่ง

วิธีคำนวณ

Hemacytometer มีระยะห่างระหว่าง chamber ถึง cover slip เท่ากับ $\frac{1}{10}$ มม.

พื้นที่ของ 5 ช่อง (อักษร B) ที่นับ = $5 \times \frac{1}{5} \times \frac{1}{5} = \frac{1}{5}$ ตารางมิลลิเมตร

ปริมาตร 5 ช่องที่นับ = $\frac{1}{5} \times \frac{1}{10} = \frac{1}{40}$ ลูกบาศก์มิลลิเมตร

สมมุติว่า 5 ช่องนับสาหร่ายได้ x cells

ปริมาตร $\frac{1}{40}$ ลูกบาศก์มิลลิเมตรนับได้ x cells

ถ้าปริมาตร 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร นับได้ x x 10 x 10 x 10 x 50 cells

(1 ลูกบาศก์เซนติเมตร = 10 x 10 x 10 ลูกบาศก์มิลลิเมตร)

นั่นคือ suspension มีจำนวนสาหร่าย = x x 50,000 cells ลูกบาศก์ซม.

หมายเหตุ

ถ้าทำ dilution ต้องนำค่า dilution factor มาคูณด้วย ตัวอย่างที่ dilution 1 : 10,000 (10^{-4}) มีจำนวนสาหร่าย 57 cells ต่อลูกบาศก์ซม. เพราะฉะนั้นจำนวนสาหร่ายใน sample ที่ไม่ได้ dilute เท่ากับ 57×10^{4} ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

4. นำผลการทดลองที่ได้ไปเขียนกราฟ เปรียบเทียบกับ control เพื่อดูผลของสารอันตรายต่อการเจริญเติบโตของแพลงค์ตอนพืช

บทที่ 3 ผลการทดลอง

3.1 ผลการทดลองความร้ายแรงของสารอันตรายโดย ใช้ปลาเป็นตัว ประเมินผล

ได้ทำการทดลองวัดค่า TLm (median tolerance limit) ซึ่งเป็นค่าความเข้มข้นของสารอันตรายที่ทำให้ปลา ครึ่งหนึ่ง หรือห้าสิบเปอร์เซ็นต์ตายในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ ในการทดลองนี้ได้วัดค่า TLm ในช่วงระยะเวลา 24 ชม. 48 ชม. 72 ชม. และ 96 ชม. ตามลำดับ

การทดลองนี้ใช้สารอันตรายทั้งสิ้น 10 ชนิดดังนี้

1. สาร DDT
2. " BHC
3. " Paraquat
4. " Abate
5. " Dieldrin
6. " Hg
7. " Cu
8. " Zn
9. " Cd
10. " Pb

ปลาที่ใช้ในการทดลองมี 5 ชนิดคือ

1. ปลาหางนกยูง
2. ปลาไน
3. ปลานิล
4. ปลากระเพียนขาว
5. ปลายี่สกเทศ

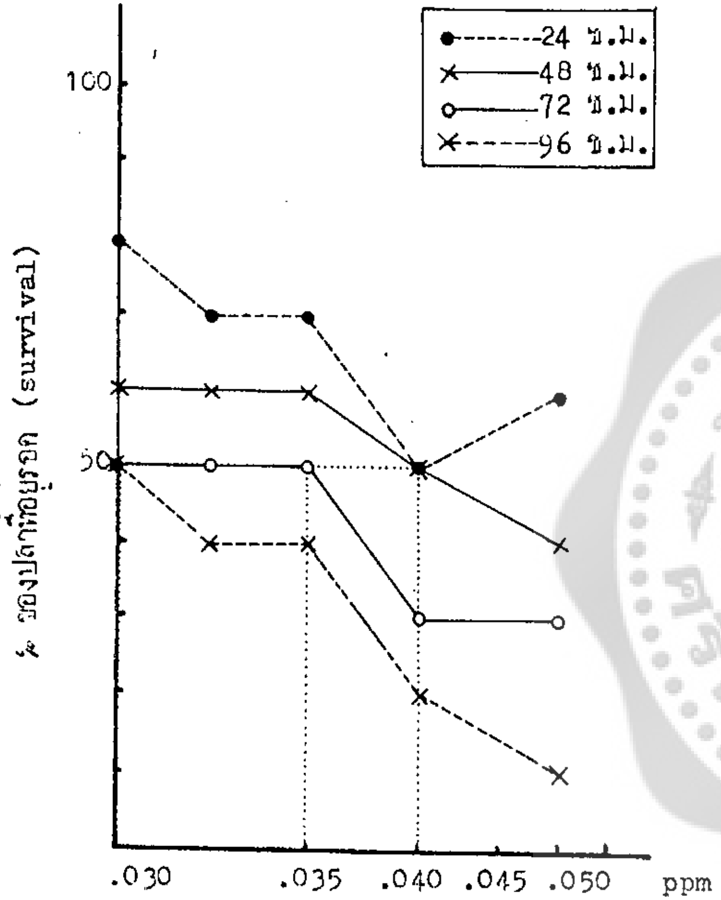
ผลการทดลองได้ทำเป็นตารางและกราฟแสดง survival curve ดังรายละเอียดตารางที่ 3.1 ถึง 3.25 และรูปที่ 3.1 ถึงรูปที่ 3.25

ตารางที่3.1แสดงผลความเข้มข้นของ DDT และ BHC ที่มีต่อการอยู่รอดของปลา หางนกยูง (*Lebistes reticulatus*)

อุณหภูมิ	ความเข้มข้น DDT (ppm)	% ที่อยู่รอดในเวลา 24ช.ม.	48 ช.ม.	72ช.ม.	96ช.ม.	ความเข้มข้น BHC (ppm)	% ที่อยู่รอดในเวลา 24ช.ม.	48 ช.ม.	72ช.ม.	96 ช.ม.
28-30°C	control	100	100	100	100	control	100	100	100	100
	0.030	80	60	50	50	3.00	80	70	60	50
	0.032	70	60	50	40	3.27	80	70	60	50
	0.035	70	60	50	40	3.73	70	70	70	40
	0.040	50	50	30	20	4.53	30	0	0	0
	0.050	60	40	30	10	6.00	20	0	0	0

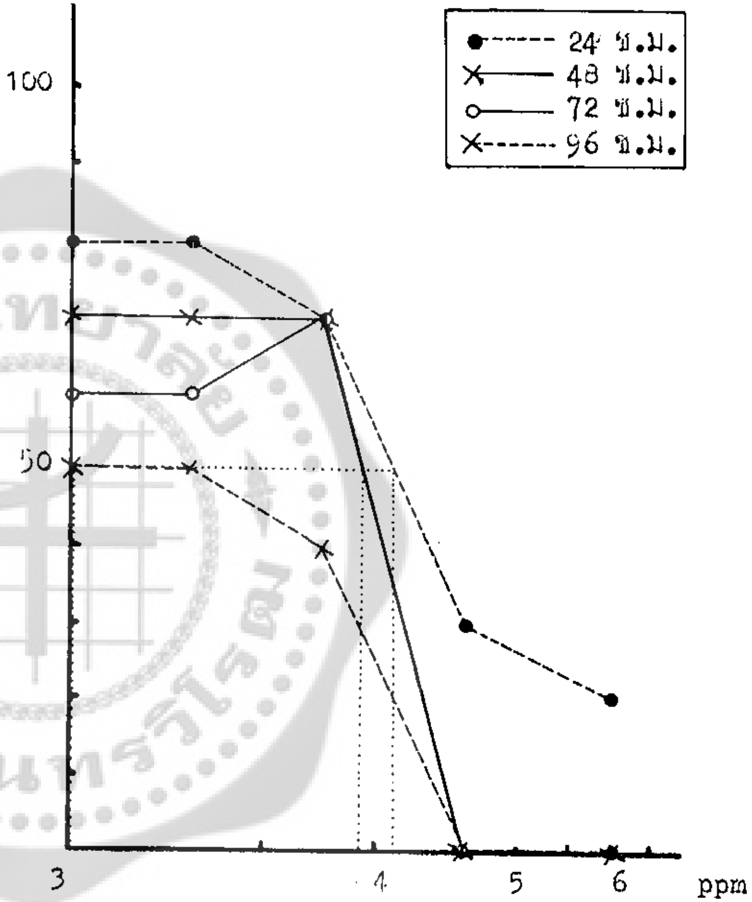
<u>ปลาหางนกยูง</u>

DDT



TLm 24,48 ช.ม. = 0.040 ppm
TLm 72 ช.ม. = 0.035 ppm
TLm 96 ช.ม. = 0.030 ppm

BHC



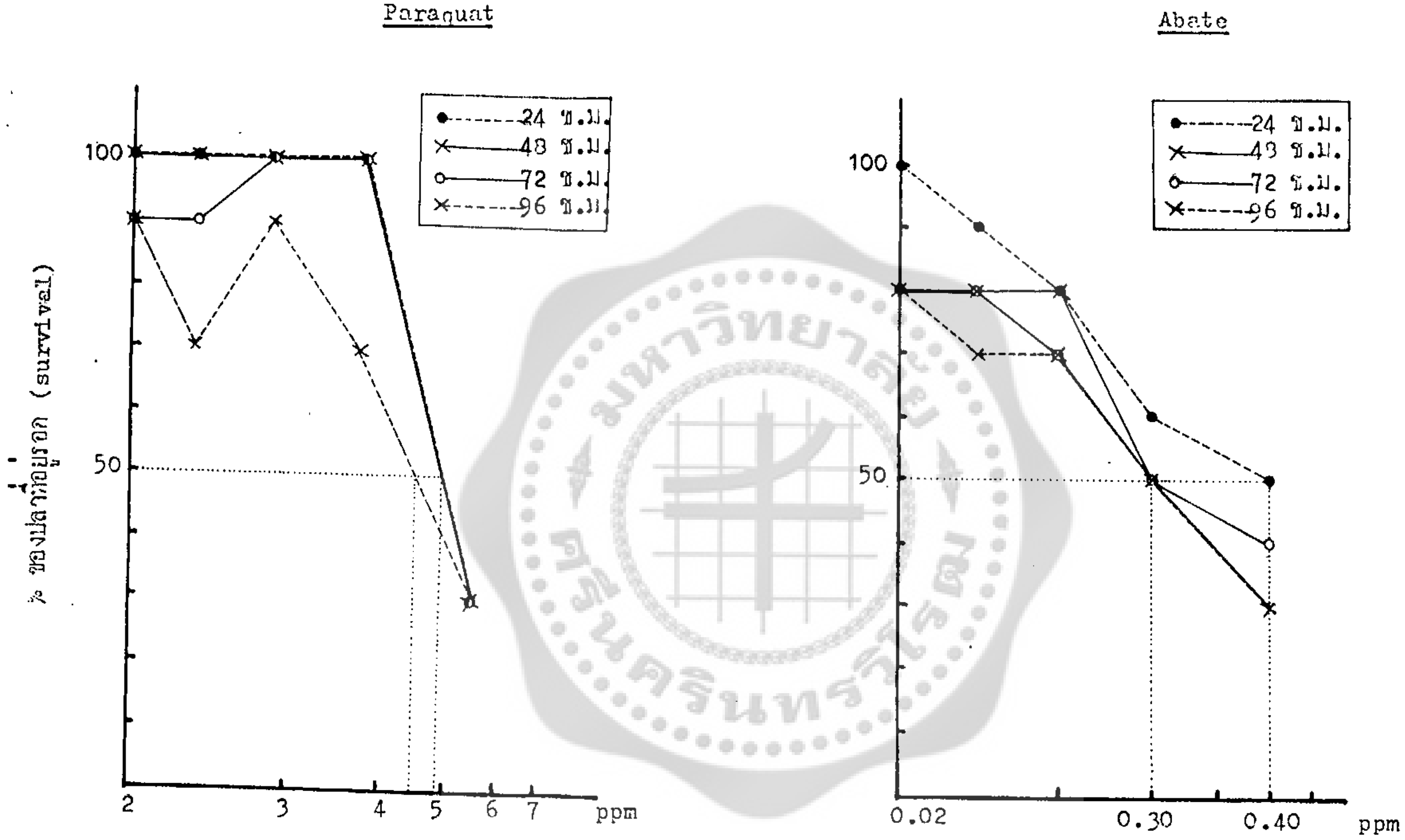
TLm 24 ช.ม. = 4.10 ppm
TLm 48,72 ช.ม. = 3.92 ppm
TLm 96 ช.ม. = 3.0 ppm

รูปที่ 3.1 แสดงผลของ DDT และ BHC ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ต่อเปอร์เซ็นต์การอยู่รอดของปลาหางนกยูง ใน 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง

ตารางที่ 3.2 แสดงผลความเข้มข้นของ Paraquat และ Abate ที่มีต่อการอยู่รอดของปลาหางนกยูง (*Lebistes reticulatus*)

อุณหภูมิ	ความเข้มข้นของ Paraquat (ppm)	% ที่อยู่รอดในเวลา				ความเข้มข้นของ Abate (ppm)	% ที่อยู่รอดในเวลา			
		24 ช.ม.	48 ช.ม.	72 ช.ม.	96 ช.ม.		24 ช.ม.	48 ช.ม.	72 ช.ม.	96 ช.ม.
28-30°C	control	100	100	100	100	control	100	100	100	100
	2.00	100	100	90	90	0.20	100	80	80	80
	2.31	100	100	90	70	0.22	90	80	80	70
	2.84	100	100	100	90	0.25	80	80	70	70
	3.76	100	100	100	70	0.30	60	50	50	50
	5.44	30	30	30	30	0.40	50	50	40	30

ปลาหางนกยูง



TLm 24,48,72 ช.ม. = 4.9 ppm
TLm 96 ช.ม. = 4.5 ppm

TLm 24 ช.ม. = 0.40 ppm
TLm 48,72,96 ช.ม. = 0.30 ppm

รูปที่ 3.2 แสดงผลของ Paraquat และ Abate ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ต่อเปอร์เซ็นต์การอยู่รอดของปลาหางนกยูงใน 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง

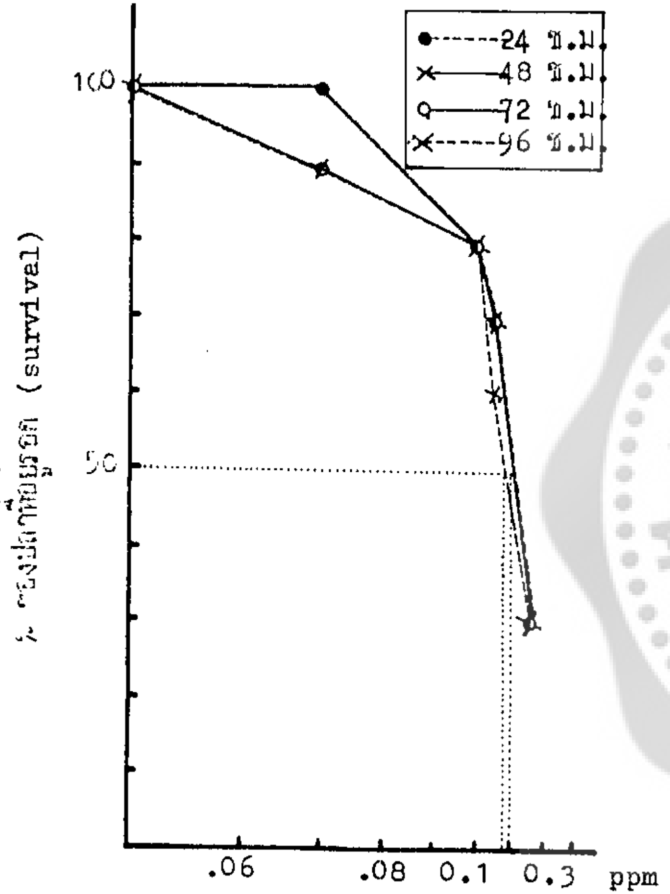
<u>ตารางที่</u> 3.3 แสดงผลความเข้มข้นของ Hg และ Dieldrin ที่มีต่อการอยู่รอดของปลา หางนกยูง (*Lebistes reticulatus*)

อุณหภูมิ	ความเข้มข้นของ Hg (ppm)	% ที่อยู่รอดในเวลา				ความเข้มข้นของ Dieldrin (ppm)	% ที่อยู่รอดในเวลา			
		24 ช.ม.	48 ช.ม.	72 ช.ม.	96 ช.ม.		24 ช.ม.	48 ช.ม.	72 ช.ม.	96 ช.ม.
28-30°C	control	100	100	100	100	control	100	100	100	100
	0.05	100	100	100	100	0.030	90	90	90	80
	0.07	100	100	90	90	0.031	90	70	60	40
	0.10	80	80	80	80	0.032	80	70	60	50
	0.15	70	70	70	60	0.035	60	50	40	40
	0.26	30	30	30	30	0.040	50	40	40	30

<u>หมายเหตุ</u> Hg as $HgCl_2$

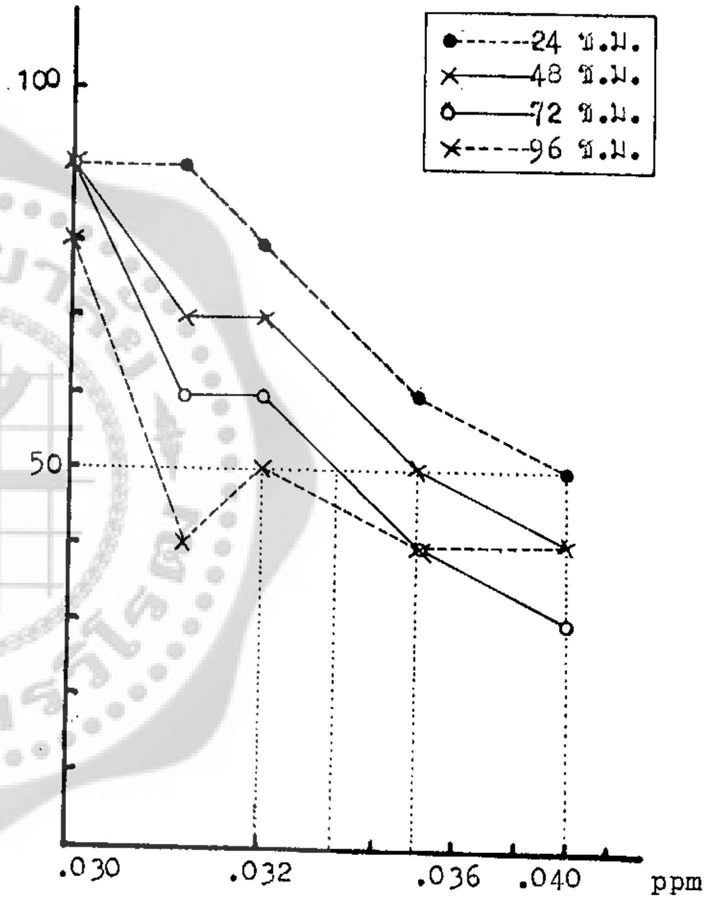
ปลาหางนกยูง

Hg



TLm 24,48,72 ช.ม. = 0.2 ppm
TLm 96 ช.ม. = 0.18 ppm

Dieldrin



TLm 24 ช.ม. = .040 ppm
TLm 48 ช.ม. = .035 ppm
TLm 72 ช.ม. = .033 ppm
TLm 96 ช.ม. = .032 ppm

รูปที่ 3.3 แสดงผลของ Hg และ Dieldrin ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ต่อเปอร์เซ็นต์การอยู่รอดของปลาหางนกยูงใน 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง

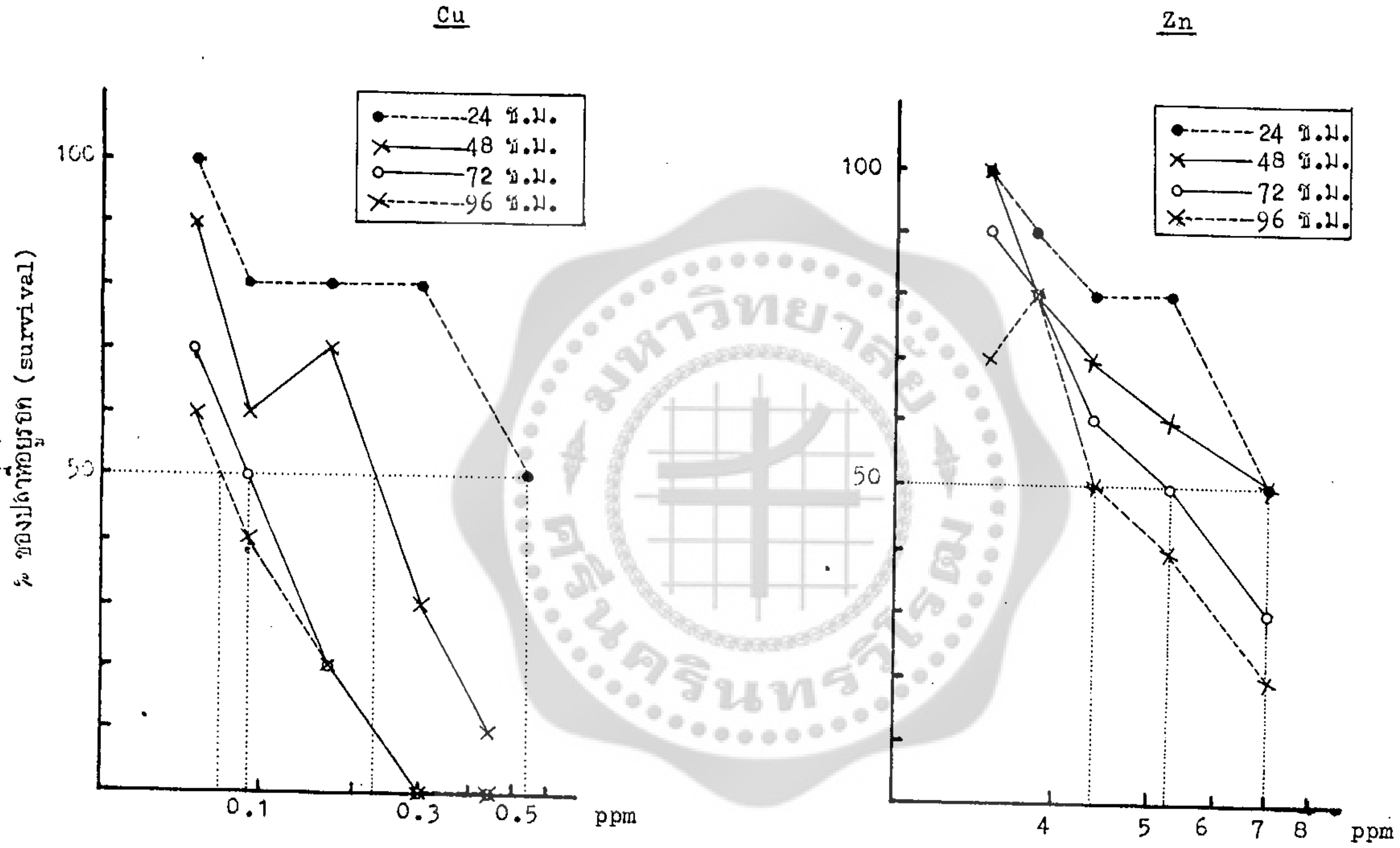
<u>ตารางที่</u>3.4 แสดงผลความเข้มข้นของ Cu และ Zn ที่มีต่อการอยู่รอดของปลา หางนกยูง(<u>Lebistes reticulatus</u>)

อุณหภูมิ	ความเข้มข้นของ Cu (ppm)	%ที่อยู่รอดในเวลา				ความเข้มข้นของ Zn (ppm)	% ที่อยู่รอดในเวลา			
		24ช.ม.	48ช.ม.	72ช.ม.	96ช.ม.		24ช.ม.	48ช.ม.	72ช.ม.	96ช.ม.
28-30°C	control	100	100	80	80	control	100	100	100	100
	0.05	100	90	70	60	3.50	100	100	90	70
	0.09	80	60	50	40	3.81	90	80	80	80
	0.17	80	70	20	20	4.36	80	70	60	50
	0.30	80	30	0	0	5.29	80	60	50	40
	0.54	50	10	0	0	7.00	50	50	30	20

<u>หมายเหตุ</u> Cu as $CuSo_4$

Zn as $ZnSo_4$

ปลาหางนกยูง



TLm 24 ช.ม. = 0.54 ppm
TLm 48 ช.ม. = 0.23 ppm
TLm 72 ช.ม. = 0.09 ppm
TLm 96 ช.ม. = 0.07 ppm

TLm 24 ช.ม. = 7.0 ppm
TLm 48 ช.ม. = 7.0 ppm
TLm 72 ช.ม. = 5.29 ppm
TLm 96 ช.ม. = 4.36 ppm

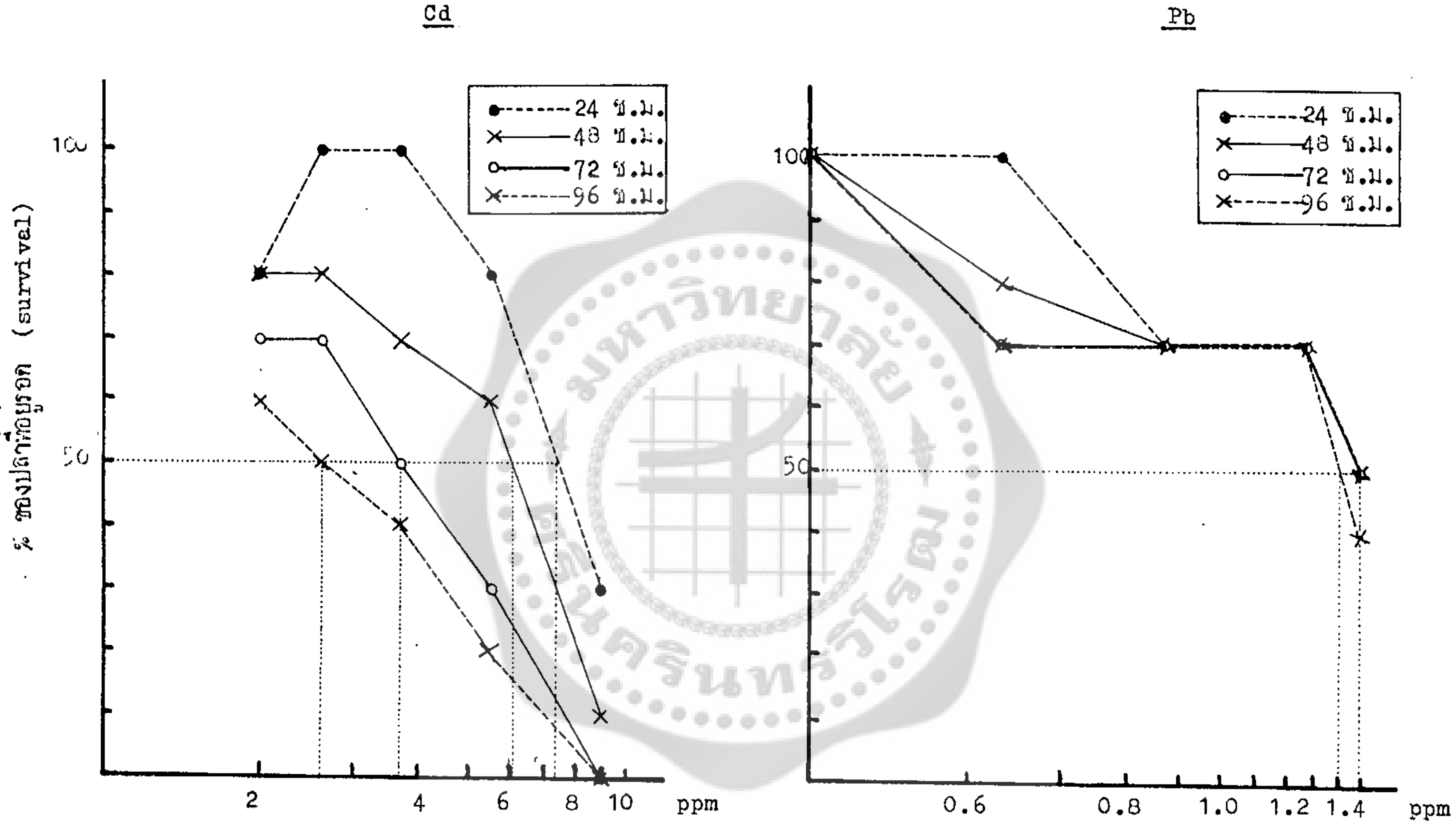
รูปที่ 3.4 แสดงผลของ Cu และ Zn ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ต่อเปอร์เซ็นต์ของการอยู่รอดของปลาหางนกยูง ใน 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง

ตารางที่ 3.5 แสดงผลความเข้มข้นของ Cd และ Pb ที่มีต่อการอยู่รอดของปลา หางนกยูง (*Lebistes reticulatus*)

อุณหภูมิ	ความเข้มข้นของ Cd (ppm)	% ที่อยู่รอดในเวลา				ความเข้มข้นของ Pb (ppm)	% ที่อยู่รอดในเวลา			
		24ช.ม.	48ช.ม.	72 ช.ม	96ช.ม.		24 ช.ม.	48ช.ม.	72 ช.ม.	96ช.ม.
28-30°C	control	100	100	100	100	control	100	100	100	100
	2.00	80	80	70	60	0.50	100	100	100	100
	2.62	100	80	70	50	0.63	100	80	70	70
	3.71	100	70	50	40	0.87	70	70	70	70
	5.58	80	60	40	20	1.27	70	70	70	70
	9.00	30	10	0	0	1.50	50	50	50	40

หมายเหตุ Cd as $CdCl_2$
Pb as $PbSo_4$

ปลาหางนกยูง



TLm 24 ช.ม. = 7.40 ppm
TLm 48 ช.ม. = 6.10 ppm
TLm 72 ช.ม. = 3.71 ppm
TLm 96 ช.ม. = 2.62 ppm

TLm 24,48,72 ช.ม. = 1.5 ppm
TLm 96 ช.ม. = 1.4 ppm

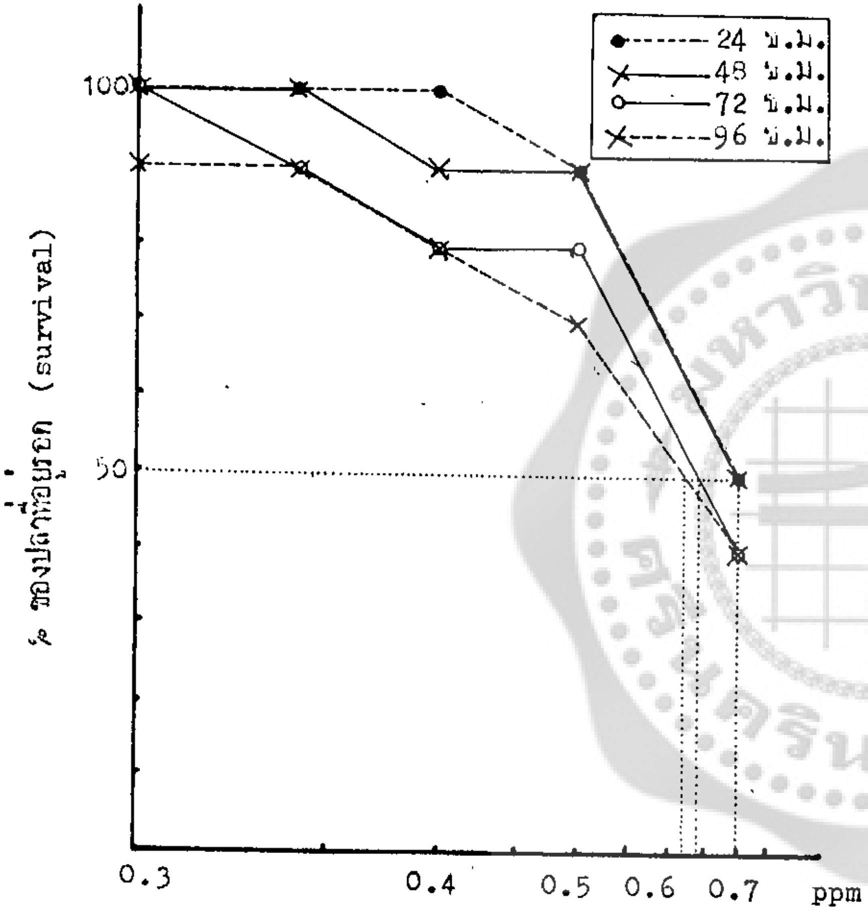
รูปที่ 3.5 แสดงผลของ Cd และ Pb ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ต่อเปอร์เซ็นต์ของการอยู่รอดของปลาหางนกยูง ใน 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง

ตารางที่3.6 แสดงผลความเข้มข้นของ DDT และ BHC ที่มีต่อการอยู่รอดของปลา ใน (*Cyprinus carpio*)

อุณหภูมิ	ความเข้มข้นของ DDT (ppm)	% ที่อยู่รอดในเวลา				ความเข้มข้นของ BHC (ppm)	% ที่อยู่รอดในเวลา			
		24ช.ม.	48ช.ม.	72ช.ม.	96ช.ม.		24ช.ม.	48ช.ม.	72ช.ม.	96ช.ม.
28-30°c	control	100	100	100	100	control	100	100	100	100
	0.30	100	100	100	90	3.50	100	100	100	100
	0.34	100	100	90	90	3.63	100	100	90	90
	0.40	100	90	80	80	3.87	100	100	80	80
	0.50	90	90	80	70	4.27	70	70	50	50
	0.70	50	50	40	40	5.00	50	40	30	30

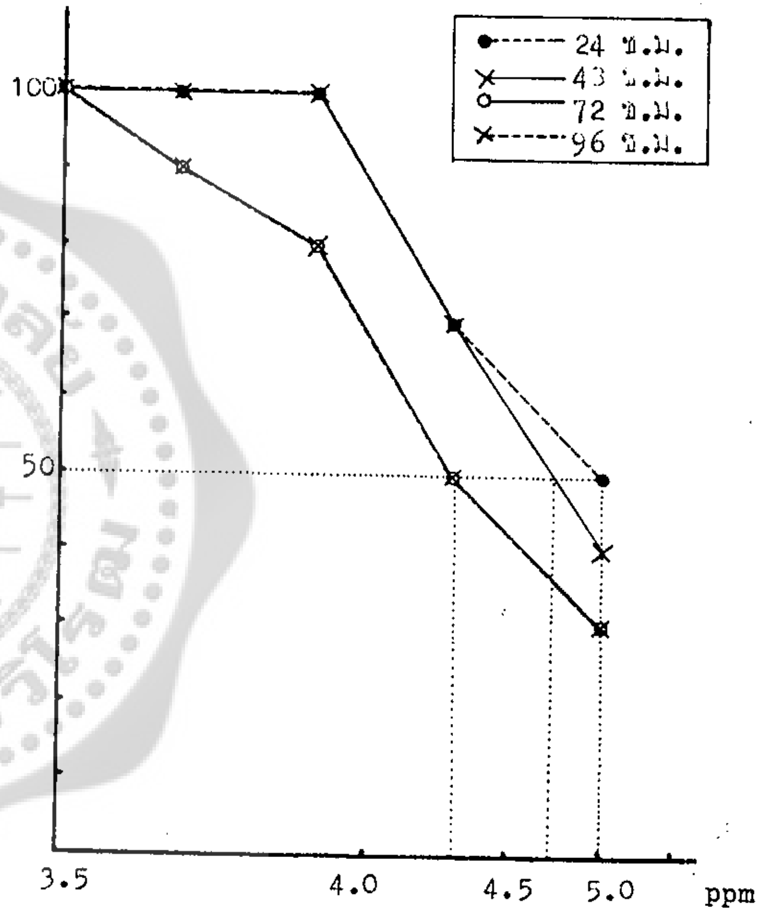
ปลาไน

DDT



TLm 24,48 ช.ม. = 0.70 ppm
TLm 72 ช.ม. = 0.64 ppm
TLm 96 ช.ม. = 0.62 ppm

BHC



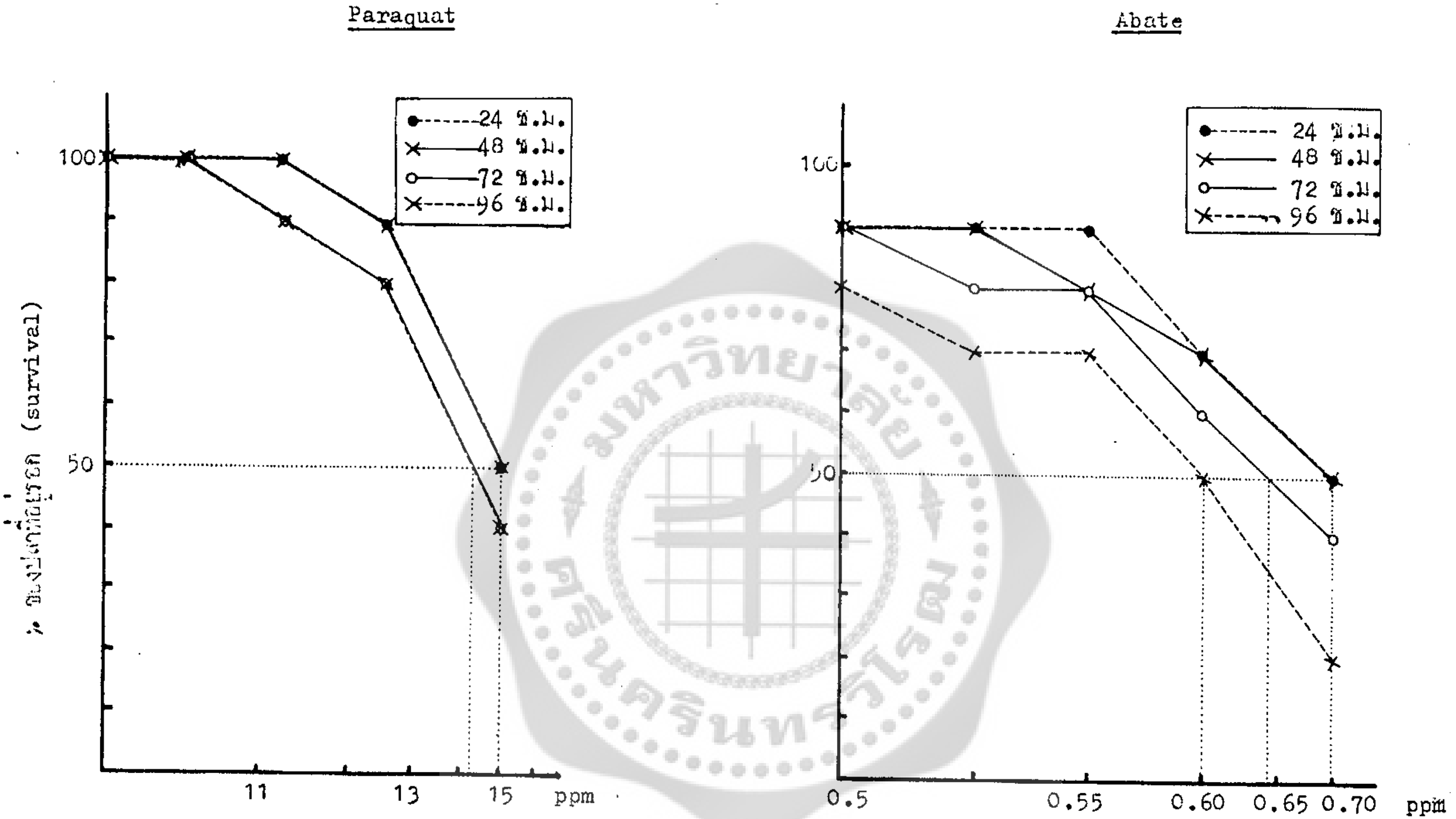
TLm 24 ช.ม. = 5.0 ppm
TLm 48 ช.ม. = 4.54 ppm
TLm 72,96 ช.ม. = 4.27 ppm

รูปที่ 3.6 แสดงผลของ DDT และ BHC ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ต่อเปอร์เซ็นต์การอยู่รอดของปลาไนใน 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง

ตารางที่3.7 แสดงผลความเข้มข้นของ Paraquat และ Abate ที่มีต่อการอยู่รอดของปลา ใน (*Cyprinus carpio*)

อุณหภูมิ	ความเข้มข้นของ Paraquat (ppm)	% ที่อยู่รอดในเวลา				ความเข้มข้นของ Abate (ppm)	% ที่อยู่รอดในเวลา			
		24ช.ม.	48ช.ม.	72ช.ม.	96ช.ม.		24ช.ม.	48ช.ม.	72ช.ม.	96ช.ม.
28-30°c	con-trol	100	100	100	100	con-trol	100	100	100	100
	10.00	100	100	100	100	0.50	90	90	90	80
	10.45	100	100	100	100	0.52	90	90	80	70
	11.22	100	100	90	90	0.55	90	80	80	70
	12.56	90	90	80	80	0.60	70	70	60	50
	15.00	50	50	40	40	0.70	50	50	40	20

ปลาไน



TLm 24,48 ช.ม. = 15 ppm
TLm 72,96 ช.ม. = 14.2 ppm

TLm 24,48 ช.ม. = 0.70 ppm
TLm 72 ช.ม. = 0.645 ppm
TLm 96 ช.ม. = 0.60 ppm

รูปที่ 5.7 แสดงผลของ Paraquat และ Abate ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ที่มีผลต่อการอยู่รอดของปลาไน ใน 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

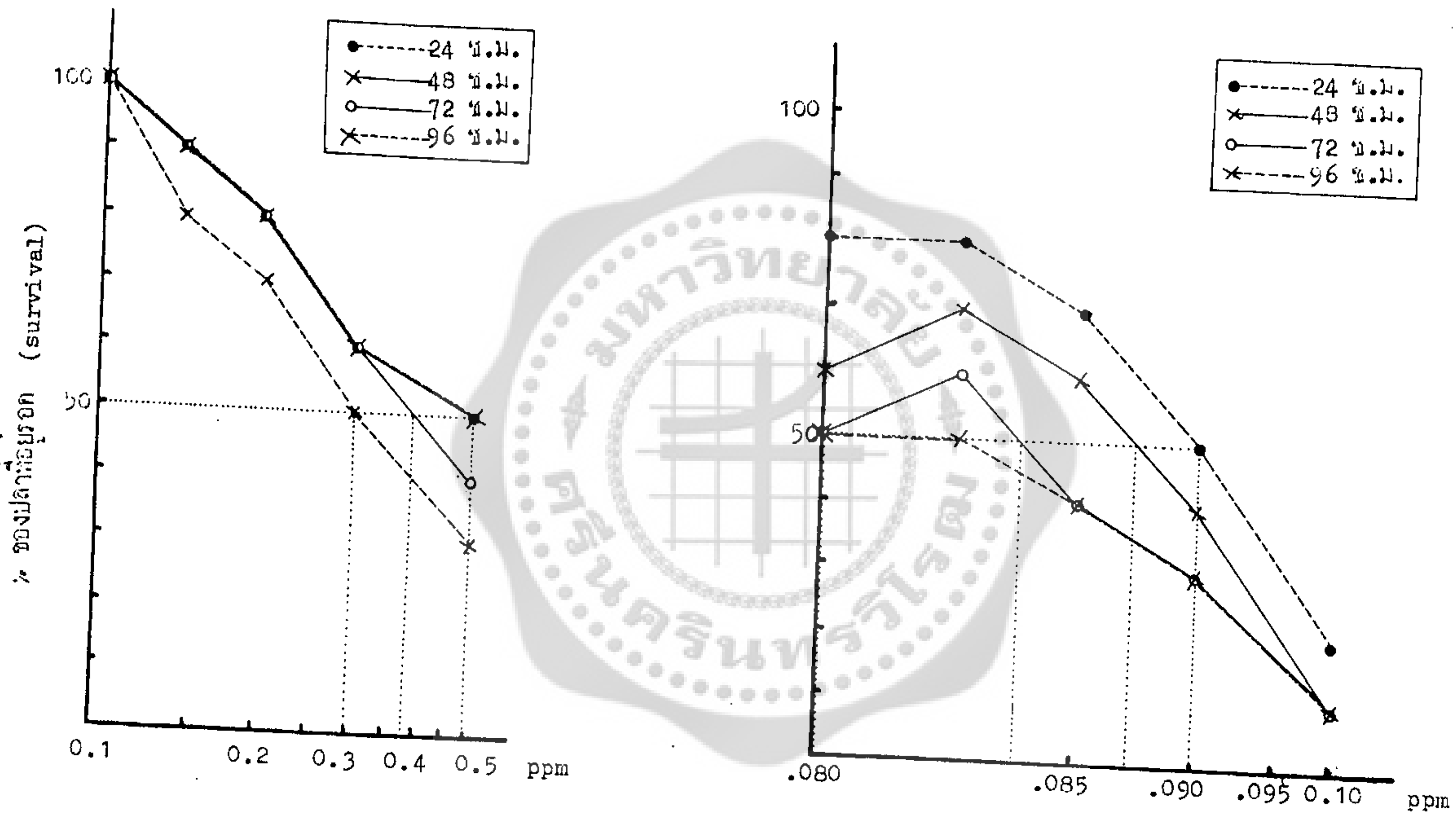
ตารางที่ 3.8 แสดงผลความเข้มข้นของ Hg และ Dieldrin ที่มีต่อการอยู่รอดของปลา ใน (*Cyprinus carpio*)

อุณหภูมิ	ความเข้มข้นของ Hg (ppm)	% ที่อยู่รอดในเวลา				ความเข้มข้นของ Dieldrin (ppm)	% ที่อยู่รอดในเวลา			
		24ช.ม.	48ช.ม.	72ช.ม.	96ช.ม.		24ช.ม.	48ช.ม.	72ช.ม.	96ช.ม.
28-30°c	control	100	100	100	100	control	100	100	100	100
	0.10	100	100	100	100	0.080	80	60	50	50
	0.14	90	90	90	80	0.082	80	70	60	50
	0.20	80	80	80	70	0.085	70	60	40	40
	0.30	60	60	60	50	0.090	50	40	40	30
	0.50	50	50	40	30	0.100	20	10	10	10

หมายเหตุ Hg as $HgCl_2$

ปลาไน

Hg   Dieldrin



TLm 24,48 ช.ม. = 0.50 ppm
TLm 72 ช.ม. = 0.38 ppm
TLm 96 ช.ม. = 0.30 ppm

TLm 24 ช.ม. = 0.090 ppm
TLm 48 ช.ม. = 0.087 ppm
TLm 72 ช.ม. = 0.084 ppm
TLm 96 ช.ม. = 0.080 ppm

รูปที่ 3.8 แสดงผลของ Hg และ Dieldrin ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การอยู่รอดของปลาไน ใน 24, 48, 72, และ 96 ชั่วโมง

ตารางที่3.9 แสดงผลความเข้มข้นของ Cu และ Zn ที่มีต่อการอยู่รอดของปลา ใน (*Cyprinus carpio*)

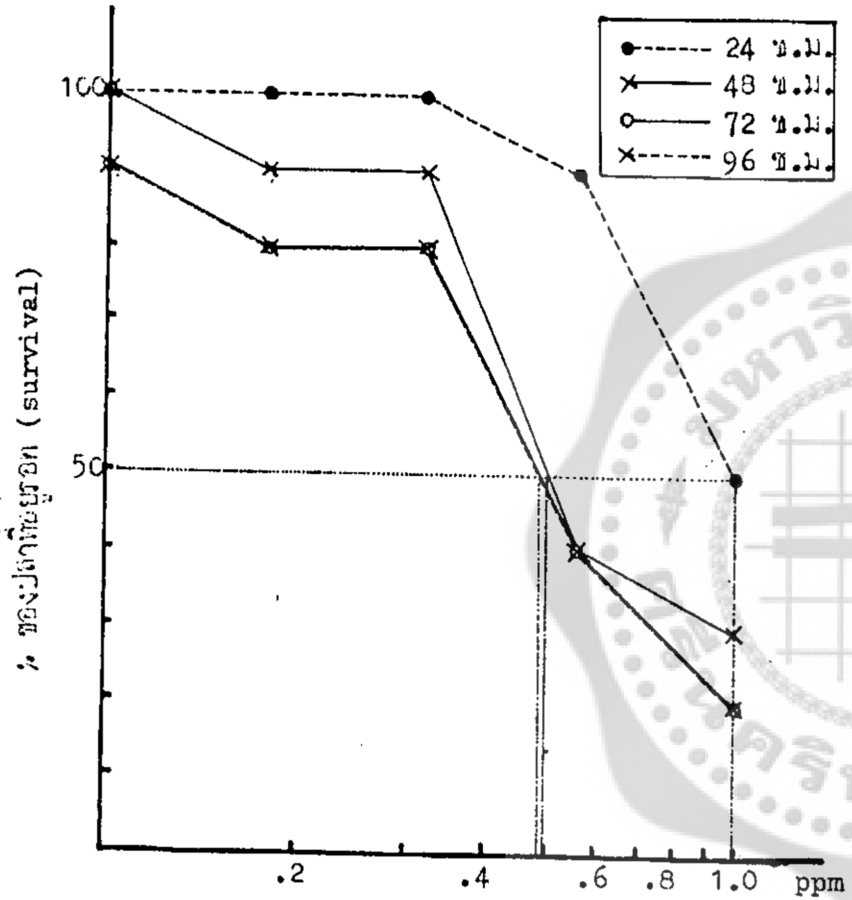
อุณหภูมิ	ความเข้มข้น Cu (ppm)	% ที่อยู่รอดในเวลา				ความเข้มข้น Zn (ppm)	% ที่อยู่รอดในเวลา			
		24ช.ม.	48ช.ม.	72ช.ม.	96ช.ม.		24ช.ม.	48ช.ม.	72ช.ม.	96ช.ม.
28-30°c	control	100	100	100	100	control	100	100	100	100
	0.10	100	100	90	90	4.50	100	90	90	90
	0.18	100	90	80	80	4.80	100	100	100	100
	0.32	100	90	80	80	5.36	100	100	100	100
	0.56	90	40	40	40	6.29	100	60	50	40
	1.00	50	30	20	20	8.00	0	0	0	0

หมายเหตุ Cu as $CuSo_4$

Zn as $ZnSo_4$

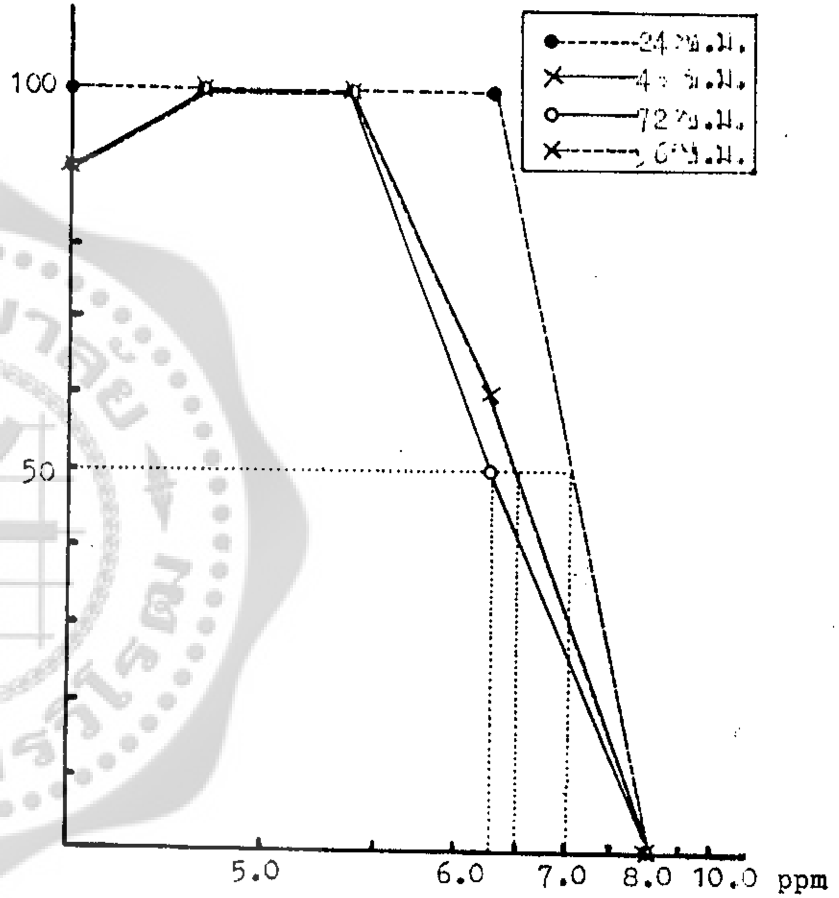
ปลาไน

Cu



TLm 24 ช.ม. = 1.0 ppm
TLm 48 ช.ม. = 0.5 ppm
TLm 72,96 ช.ม. = 0.49 ppm

Zn



TLm 24 ช.ม. = 7.0 ppm
TLm 48 ช.ม. = 6.5 ppm
TLm 72 ช.ม. = 6.29 ppm
TLm 96 ช.ม. = 6.5 ppm

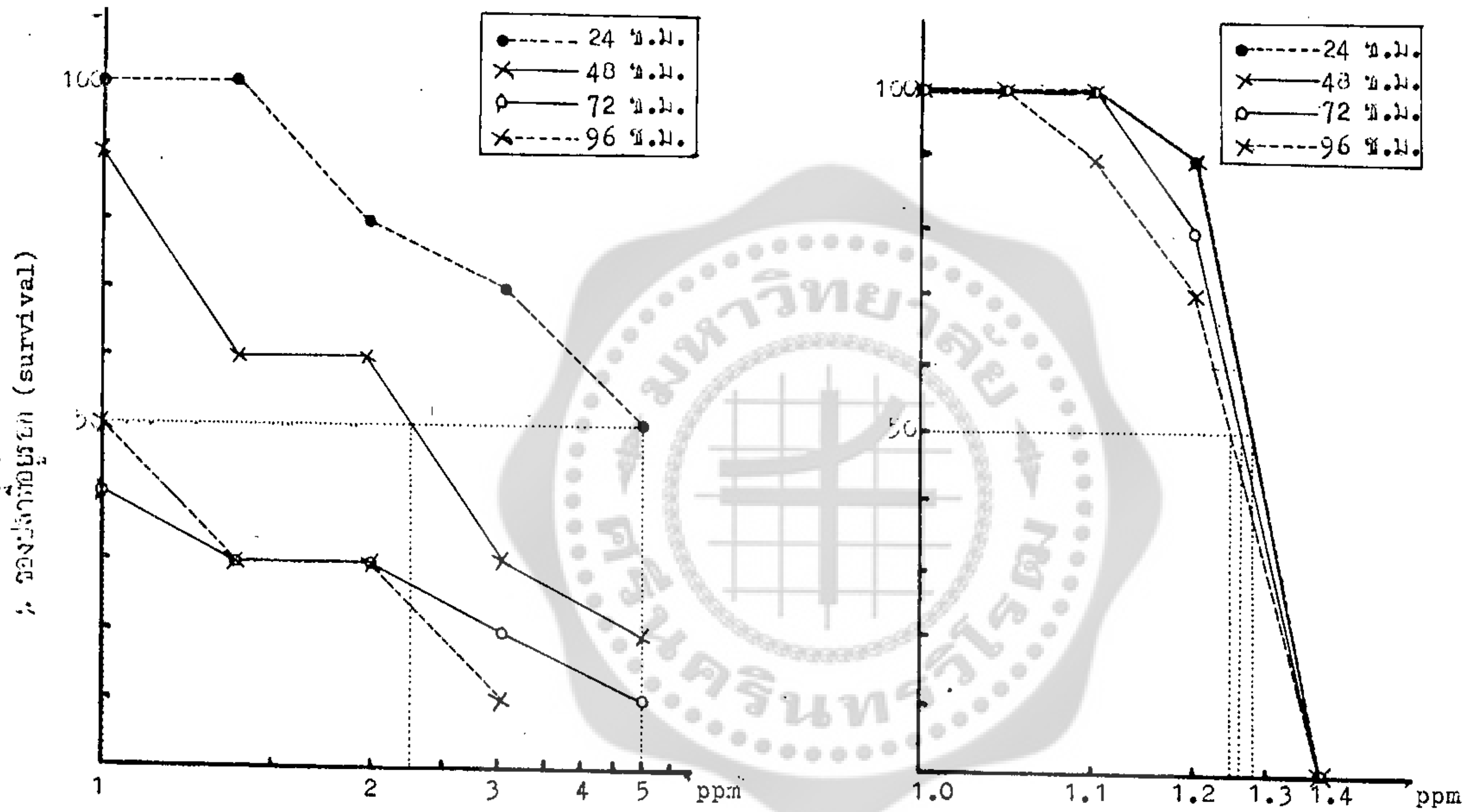
รูปที่ 3.9 แสดงผลของ Cu และ Zn ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ต่อเปอร์เซ็นต์การอยู่รอดของปลาไนใน 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง

ตารางที่ 3.10 แสดงผลความเข้มข้นของ Cd และ Pb ที่มีต่อการอยู่รอดของปลาไน (*Cyprinus carpio*)

อุณหภูมิ	ความเข้มข้นของ Cd (ppm)	% ที่อยู่รอดในเวลา				ความเข้มข้นของ Pb (ppm)	% ที่อยู่รอดในเวลา			
		24ช.ม.	48ช.ม.	72ช.ม.	96ช.ม.		24ช.ม.	48ช.ม.	72ช.ม.	96ช.ม.
28-30°c	control	100	100	100	100	control	100	100	100	100
	1.00	100	90	40	50	1.00	100	100	100	100
	1.36	100	60	30	30	1.04	100	100	100	100
	1.98	80	60	30	30	1.10	100	100	100	90
	3.04	70	30	20	10	1.20	90	90	80	70
	5.00	50	20	10	10	1.40	0	0	0	0

หมายเหตุ Cd as $CdCl_2$

Pb as $PbSo_4$



TLm 24 ช.ม. = 5.0 ppm
TLm 48 ช.ม. = 2.25 ppm
TLm 72 ช.ม. = หาไม่ได้
TLm 96 ช.ม. = 1.0 ppm

TLm 24, 48 ช.ม. = 1.28 ppm
TLm 72 ช.ม. = 1.26 ppm
TLm 96 ช.ม. = 1.25 ppm

รูปที่ 3.10 แสดงผลของ Cd และ Pb ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ต่อเปอร์เซ็นต์การอยู่รอดของปลาไน ใน 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง

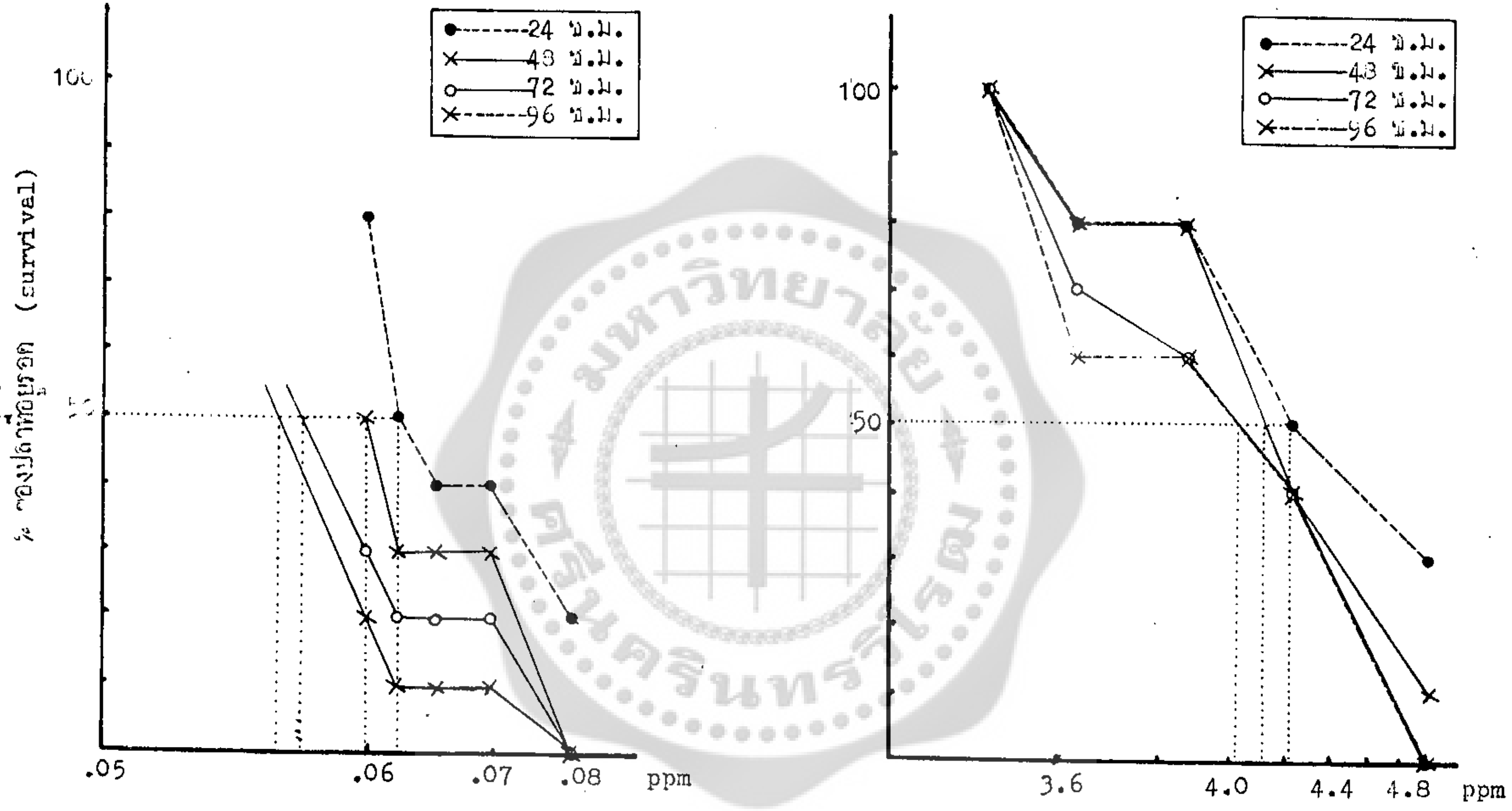
ตารางที่ 3.11 แสดงผลความเข้มข้นของ DDT และ BHC ที่มีต่อการอยู่รอดของปลา นิล (*Tilapia nilotica*)

อุณหภูมิ	ความเข้มข้นของ DDT (ppm)	% ที่อยู่รอดในเวลา 24 ช.ม.	48 ช.ม.	72 ช.ม.	96 ช.ม.	ความเข้มข้นของ BHC (ppm)	% ที่อยู่รอดในเวลา 24 ช.ม.	48 ช.ม.	72 ช.ม.	96 ช.ม.
28-30°c	control	100	100	100	100	control	100	100	100	100
	0.060	80	50	30	20	3.50	100	100	100	100
	0.062	50	30	20	10	3.63	80	80	70	60
	0.065	40	30	20	10	3.87	80	80	60	60
	0.070	40	30	20	10	4.27	50	40	40	40
	0.080	20	0	0	0	5.00	30	10	0	0

ปลานิล

DDT

BHC



TLm	24 ช.ม.	=	.062	ppm
TLm	48 ช.ม.	=	.060	ppm
TLm	72 ช.ม.	=	.057	ppm
TLm	96 ช.ม.	=	.056	ppm

TLm	24 ช.ม.	=	4.27	ppm
TLm	48 ช.ม.	=	4.12	ppm
TLm	72,96 ช.ม.	=	4.05	ppm

รูปที่ 3.11 แสดงผลของ DDT และ BHC ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ กันต่อเปอร์เซ็นต์การอยู่รอดของปลานิลใน 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง

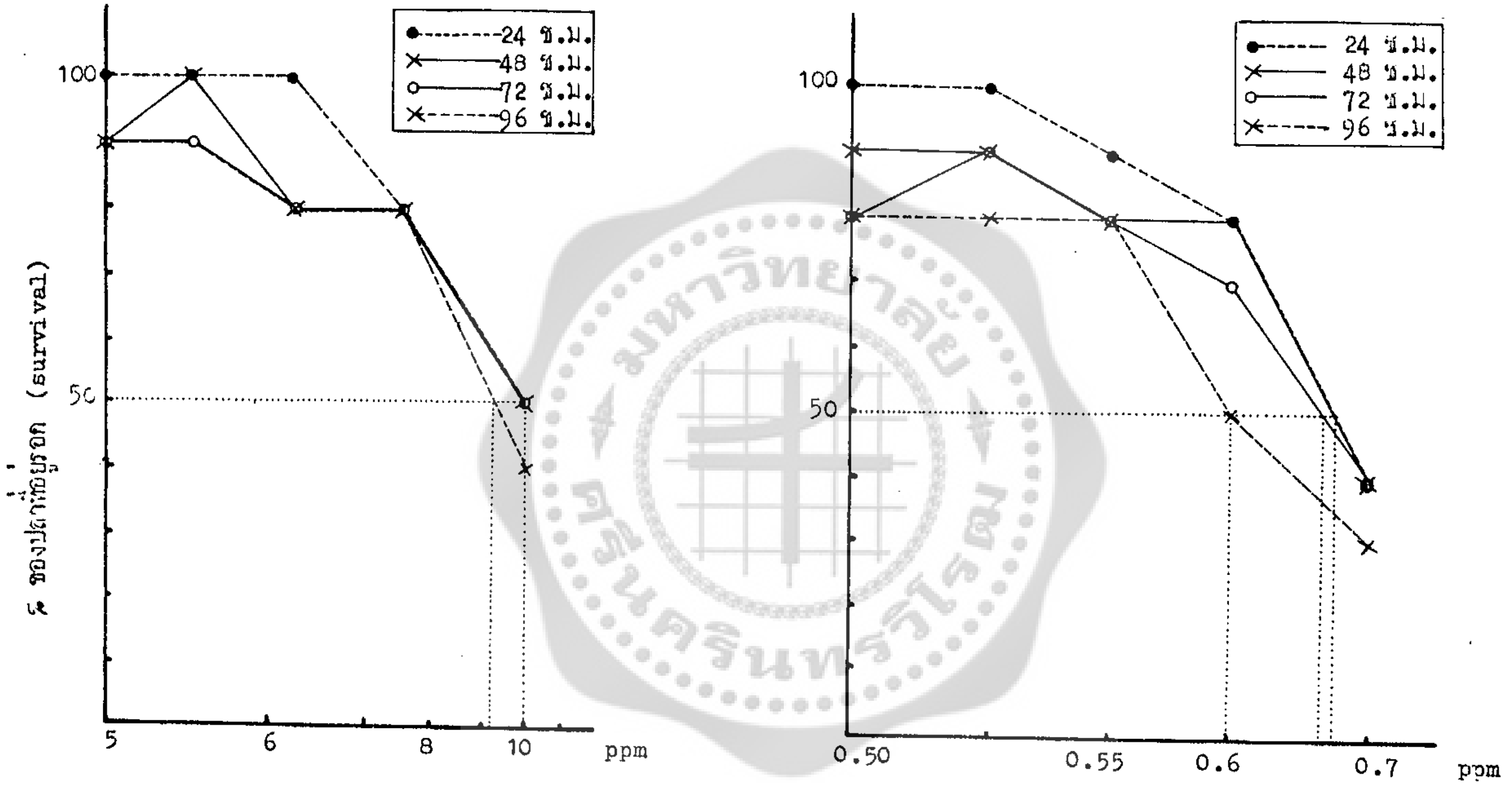
ตารางที่3.12 แสดงผลความเข้มข้นของ Paraquat และ Abate ที่มีต่อการอยู่รอดของปลา นิล (*Tilapia nilotica*)

	ความเข้มข้นของ Paraquat (ppm)	% ที่อยู่รอดในเวลา				ความเข้มข้นของ Abate (ppm)	% ที่อยู่รอดในเวลา			
		24ช.ม.	48ช.ม.	72ช.ม.	96ช.ม.		24ช.ม.	48ช.ม.	72ช.ม.	96ช.ม.
28–30°c	control	100	100	100	100	control	100	100	100	100
	5.00	100	90	90	90	0.50	100	90	80	80
	5.45	100	100	90	90	0.52	100	90	90	80
	6.22	100	80	80	80	0.55	90	80	80	80
	7.56	80	80	80	80	0.60	80	80	70	50
	10.00	50	50	50	40	0.70	40	40	40	30

ปลานิล

Paraquat

Abate



TLm 24,48,72 ช.ม. = 10 ppm
TLm 96 ช.ม. = 9.2 ppm

TLm 24,48 ช.ม. = 0.67 ppm
TLm 72 ช.ม. = 0.66 ppm
TLm 96 ช.ม. = 0.60 ppm

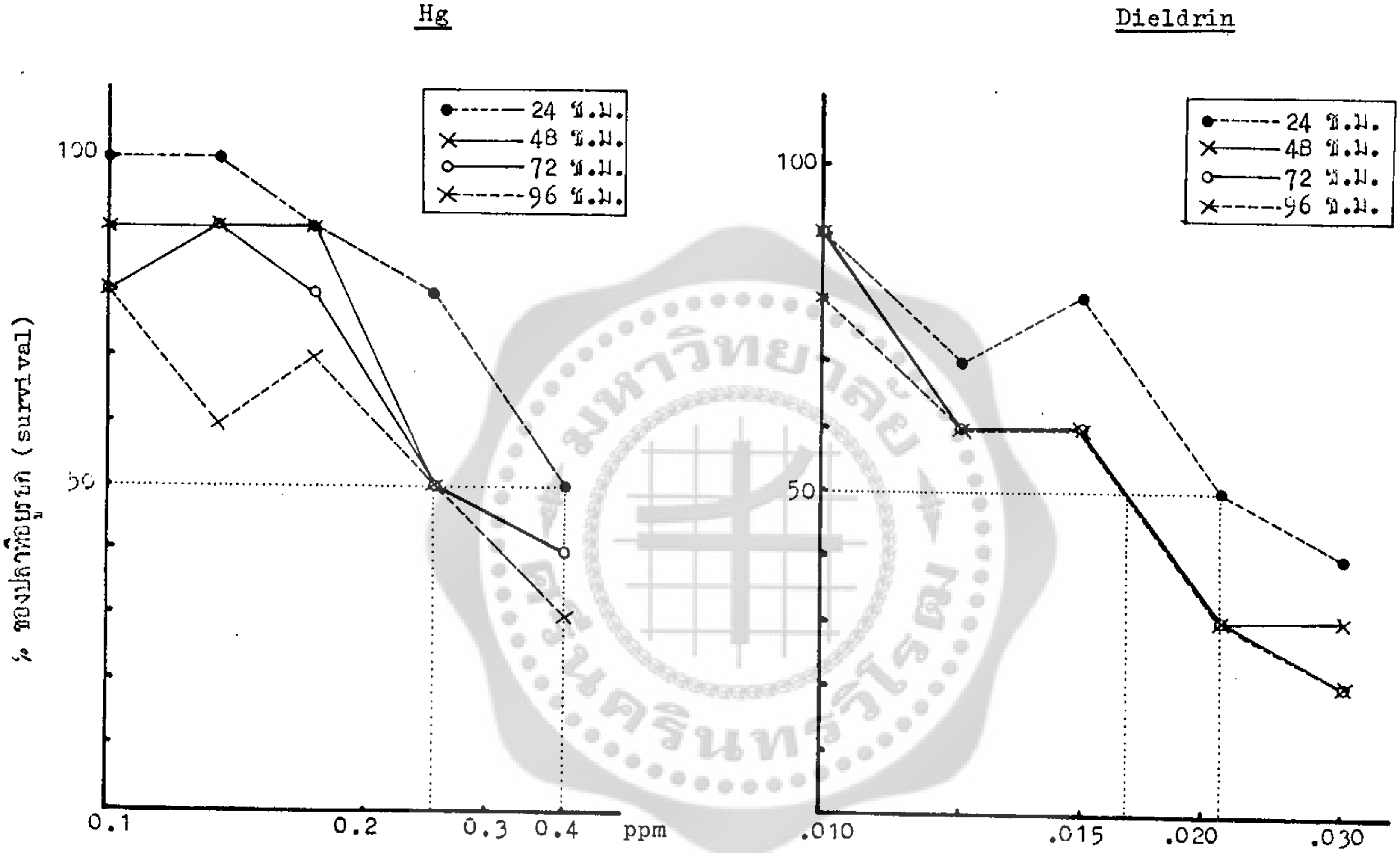
รูปที่ 3.12 แสดงผลของ Paraquat และ Abate ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ต่อเปอร์เซ็นต์การอยู่รอดของปลานิล ใน 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง

ตารางที่ 3.13 แสดงผลความเข้มข้นของ Hg และ Dieldrin ที่มีต่อการอยู่รอดของปลา นิล (*Tilapia nilotica*)

อุณหภูมิ	ความเข้มข้นของ Hg (ppm)	% ที่อยู่รอดในเวลา				ความเข้มข้นของ Dieldrin (ppm)	% ที่อยู่รอดในเวลา			
		24 ช.ม.	48 ช.ม.	72 ช.ม.	96 ช.ม.		24 ช.ม.	48 ช.ม.	72 ช.ม.	96 ช.ม.
28-30°c	control	100	100	100	100	control	100	100	100	100
	0.10	100	90	80	80	0.010	90	90	90	80
	0.13	100	90	90	60	0.012	70	60	60	60
	0.17	90	90	80	70	0.015	80	60	60	60
	0.25	80	50	50	50	0.021	50	30	30	30
	0.40	50	40	40	30	0.030	40	30	20	20

หมายเหตุ Hg as $HgCl_2$

ปลานิล



TLm 24 ช.ม. = 0.4 ppm
TLm 48,72,96 ช.ม. = 0.25 ppm

TLm 24 ช.ม. = .021 ppm
TLm 48,72,96 ช.ม. = .017 ppm

รูปที่ 3.15 แสดงผลของ Hg และ Dieldrin ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ต่อเปอร์เซ็นต์การอยู่รอดของปลานิล ใน 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง

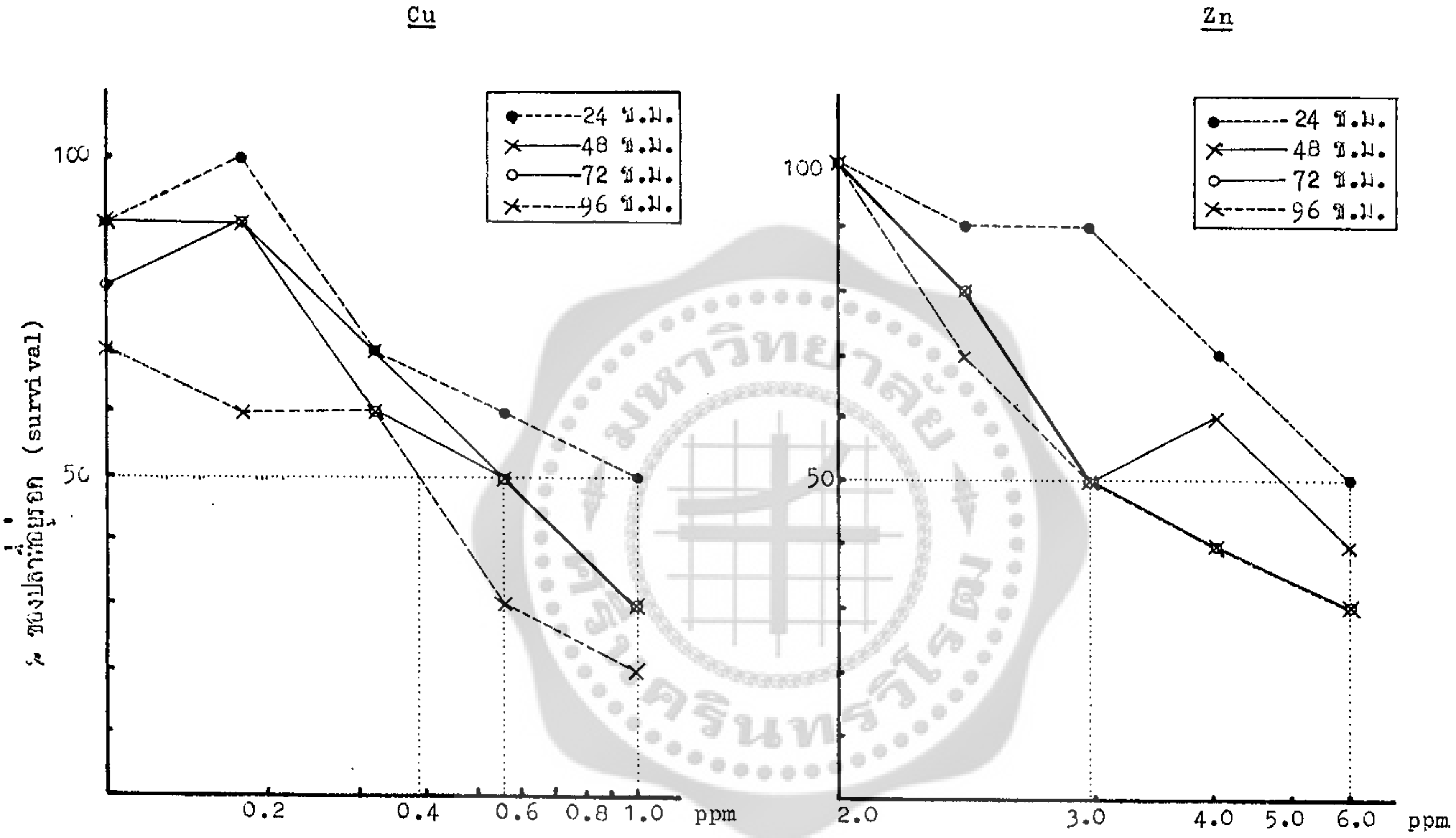
ตารางที่3.14 แสดงผลความเข้มข้นของ Cu และ Zn ที่มีต่อการอยู่รอดของปลา นิล (*Tilapia nilotica*)

อุณหภูมิ	ความเข้มข้นของ Cu (ppm)	% ที่อยู่รอดในเวลา 24 ช.ม.	48 ช.ม.	72 ช.ม.	96 ช.ม.	ความเข้มข้นของ Zn (ppm)	% ที่อยู่รอดในเวลา 24 ช.ม.	48 ช.ม.	72 ช.ม.	96 ช.ม.
28–30°c	control	100	100	100	100	control	100	100	100	100
	0.10	90	90	80	70	2.00	100	100	100	100
	0.18	100	90	90	60	2.36	90	80	80	70
	0.32	70	70	60	60	2.98	90	50	50	50
	0.56	60	50	50	30	4.04	70	60	40	40
	1.00	50	30	30	20	6.00	50	40	30	30

หมายเหตุ Cu as $CuSo_4$

Zn as $ZnSo_4$

ปลานิล



TLm 24 ช.ม. = 1.0 ppm
TLm 48,72 ช.ม. = 0.56 ppm
TLm 96 ช.ม. = 0.39 ppm

TLm 24 ช.ม. = 6.0 ppm
TLm 48,72,96 ช.ม. = 2.98 ppm

รูปที่ 3.14 แสดงผลของ Cu และ Zn ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ต่อเปอร์เซ็นต์การอยู่รอดของปลานิลใน 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง

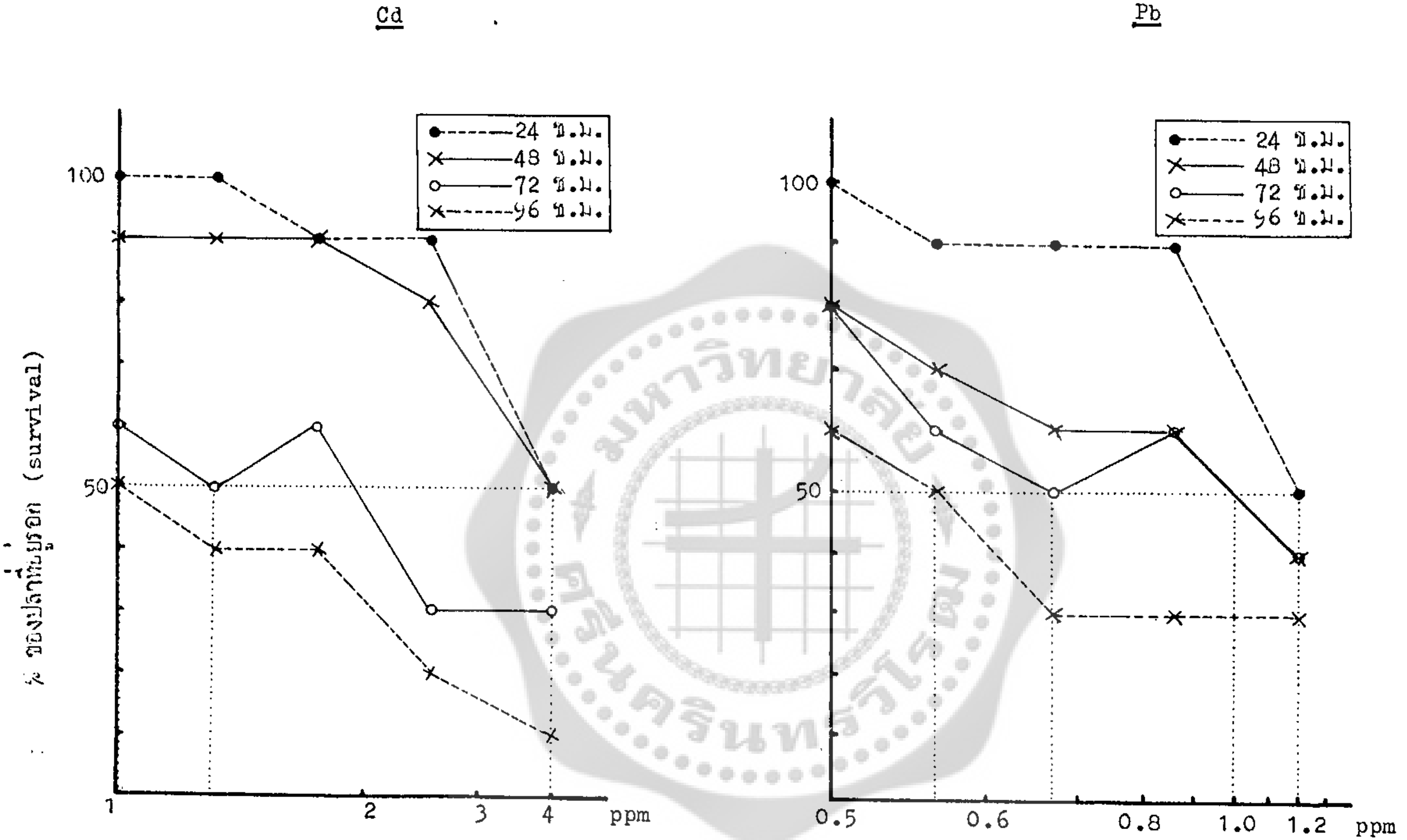
ตารางที่ 3.15 แสดงผลความเข้มข้นของ Cd และ Pb ที่มีต่อการอยู่รอดของปลานิล (*Tilapia nilotica*)

อุณหภูมิ	ความเข้มข้น Cd (ppm)	% ที่อยู่รอดในเวลา 24 ช.ม.	% ที่อยู่รอดในเวลา 48 ช.ม.	% ที่อยู่รอดในเวลา 72 ช.ม.	% ที่อยู่รอดในเวลา 96 ช.ม.	ความเข้มข้น Pb (ppm)	ที่อยู่รอดในเวลา 24 ช.ม.	ที่อยู่รอดในเวลา 48 ช.ม.	ที่อยู่รอดในเวลา 72 ช.ม.	ที่อยู่รอดในเวลา 96 ช.ม.
28-30°c	control	100	100	100	100	control	100	100	100	100
	1.00	100	90	60	50	0.50	100	80	80	60
	1.27	100	90	50	40	0.56	90	70	60	50
	1.73	90	90	60	40	0.67	90	60	50	30
	2.53	90	80	30	20	0.86	90	60	60	30
	4.00	50	50	30	10	1.20	50	40	40	30

หมายเหตุ Cd as $CdCl_2$

Pb as $PbSo_4$

ปลานิล



TLm 24,48 ช.ม. = 4.0 ppm
TLm 72 ช.ม. = 1.27 ppm
TLm 96 ช.ม. = 1.0 ppm

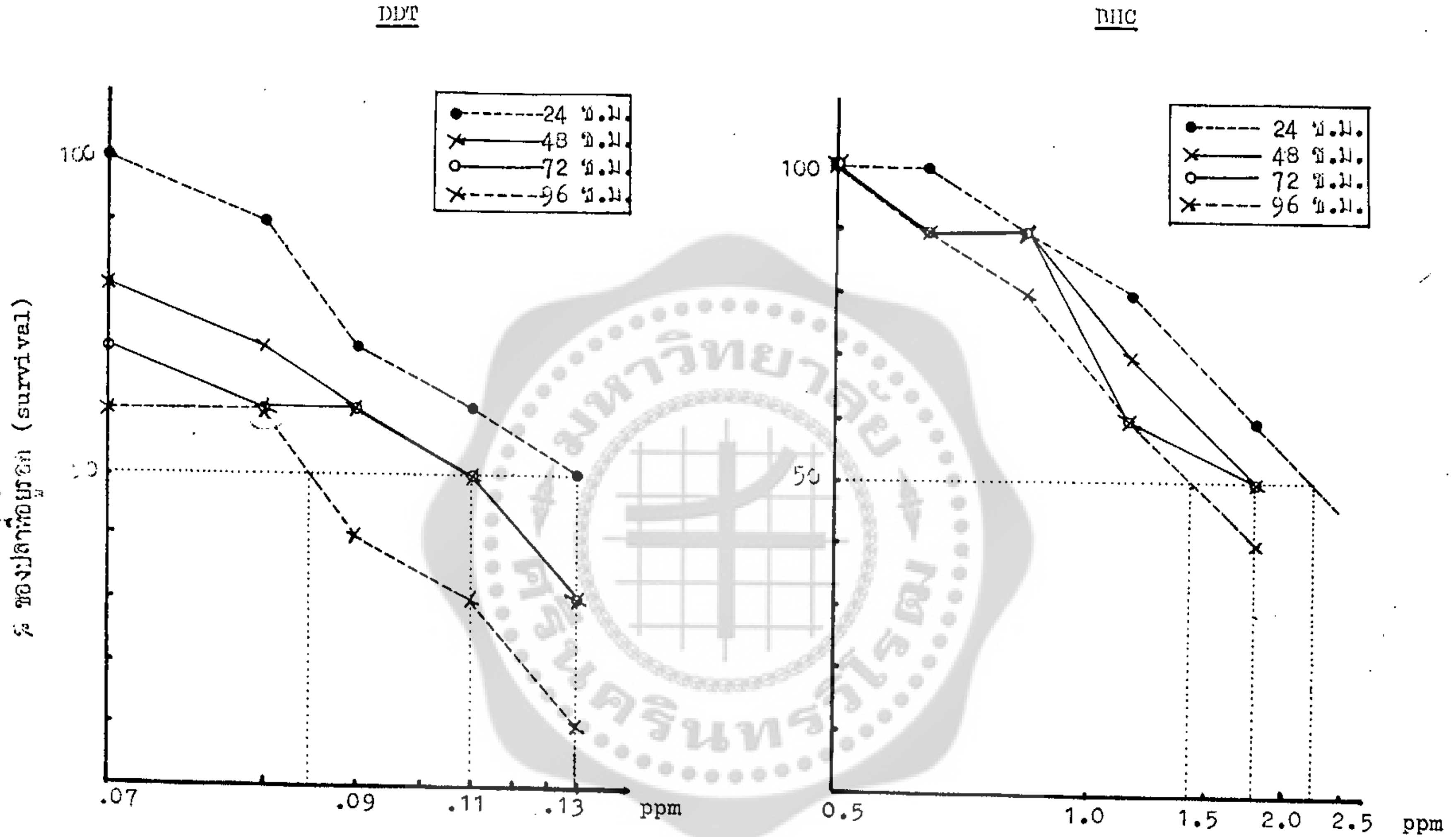
TLm 24 ช.ม. = 1.2 ppm
TLm 48 ช.ม. = 1.0 ppm
TLm 72 ช.ม. = 0.67 ppm
TLM 96 ช.ม. = 0.56 ppm

รูปที่ 3.15 แสดงผลของ Cd และ Pb ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ต่อเปอร์เซนต์การอยู่รอดของปลานิลใน 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง

ตารางที่3.1๖ แสดงผลความเข้มข้นของ DDT และ BHC ที่มีต่อการอยู่รอดของปลาตะเพียนขาว (*Puntius gonionotus*)

อุณหภูมิ	ความเข้มข้นของ DDT (ppm)	% ที่อยู่รอดในเวลา				ความเข้มข้นของ BHC (ppm)	% ที่อยู่รอดในเวลา			
		24 ช.ม.	48 ช.ม.	72 ช.ม.	96 ช.ม.		24 ช.ม.	48 ช.ม.	72 ช.ม.	96 ช.ม.
28-30°c	control	100	100	100	100	control	100	100	100	100
	0.07	100	80	70	60	0.50	100	100	100	100
	0.08	90	70	60	60	0.62	100	90	90	90
	0.09	70	60	60	40	0.82	90	90	90	80
	0.11	60	50	50	30	1.16	80	70	60	60
	0.14	50	30	30	10	1.80	60	50	50	40

ปลาตะเพียนขาว



TLm 24 ช.ม. = 0.14 ppm
TLm 48,72 ช.ม. = 0.11 ppm
TLm 96 ช.ม. = 0.08 ppm

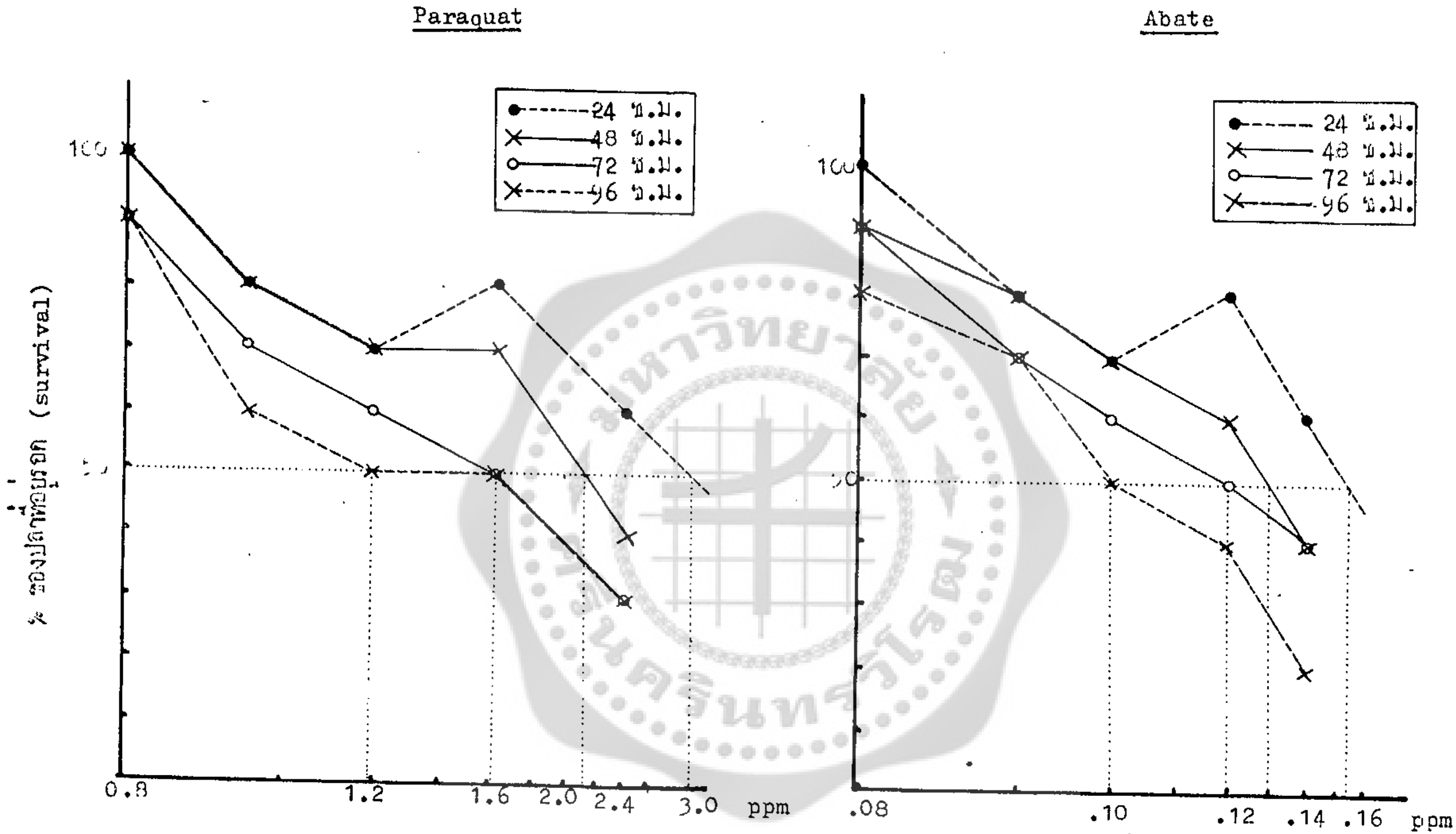
TLm 24 ช.ม. = 2.25 ppm
TLm 48,72 ช.ม. = 1.80 ppm
TLm 96 ช.ม. = 1.43 ppm

รูปที่3.16 แสดงผลของ DDT และ BHC ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ต่อเปอร์เซ็นต์การอยู่รอดของปลาตะเพียนขาว ใน 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง

ตารางที่ 3.17 แสดงผลความเข้มข้นของ Paraquat และ Abate ที่มีต่อการอยู่รอดของปลาตะเพียนขาว (*Puntius gonionotus*)

อุณหภูมิ	ความเข้มข้นของ Paraquat (ppm)	% ที่อยู่รอดในเวลา 24 ช.ม.	48 ช.ม.	72 ช.ม.	96 ช.ม.	ความเข้มข้นของ Abate (ppm)	% ที่อยู่รอดในเวลา 24 ช.ม.	48 ช.ม.	72 ช.ม.	96 ช.ม.
28-30°c	control	100	100	100	100	control	100	100	100	100
	0.08	100	100	90	90	0.08	100	90	90	80
	0.94	80	80	70	60	0.09	80	80	70	70
	1.19	70	70	60	50	0.10	70	70	60	50
	1.62	80	70	50	50	0.12	80	60	50	40
	2.40	60	40	30	30	0.15	60	40	40	20

ปลากะเพียนขาว



TLm 24 ช.ม. = 3.0 ppm
TLm 48 ช.ม. = 2.1 ppm
TLm 72 ช.ม. = 1.6 ppm
TLm 96 ช.ม. = 1.2 ppm

TLm 24 ช.ม. = 0.154 ppm
TLm 48 ช.ม. = 0.130 ppm
TLm 72 ช.ม. = 0.120 ppm
TLm 96 ช.ม. = 0.10 ppm

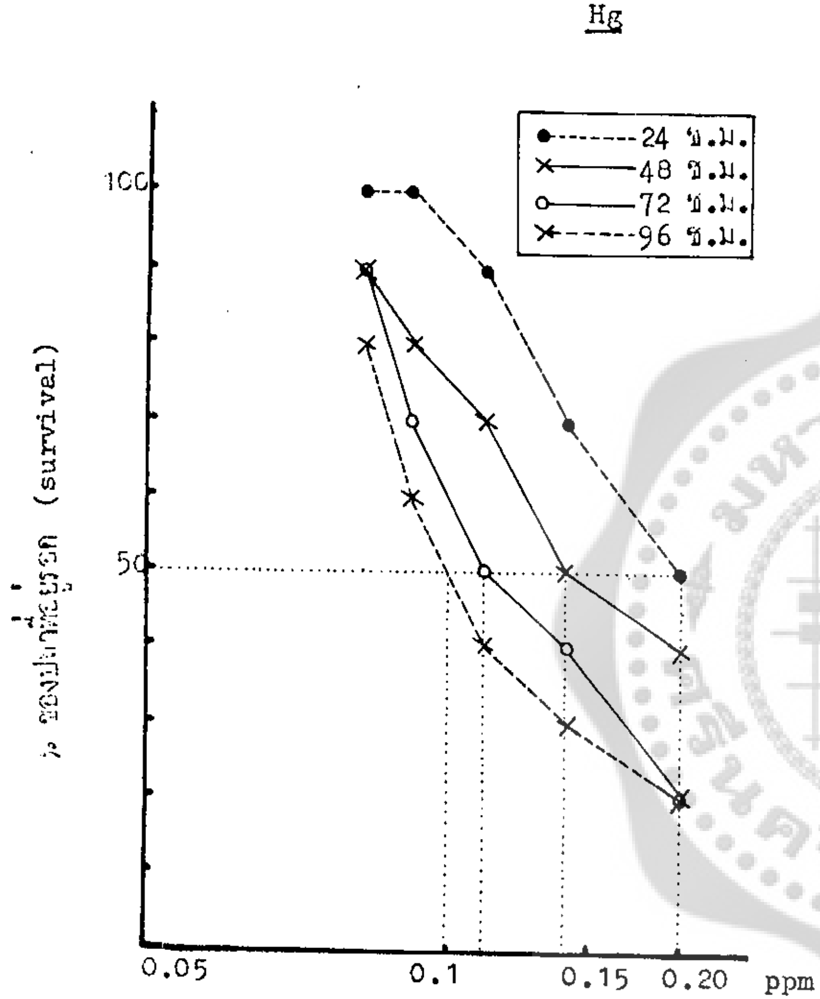
รูปที่ 3.17 แสดงผลของ Paraquat และ Abate ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ต่อเปอร์เซ็นต์การอยู่รอดของปลากะเพียนขาวใน 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง

ตารางที่3.18แสดงผลความเข้มข้นของ Hg และ Dieldrin ที่มีต่อการอยู่รอดของปลาตะเพียนขาว (*Puntius gonionotus*)

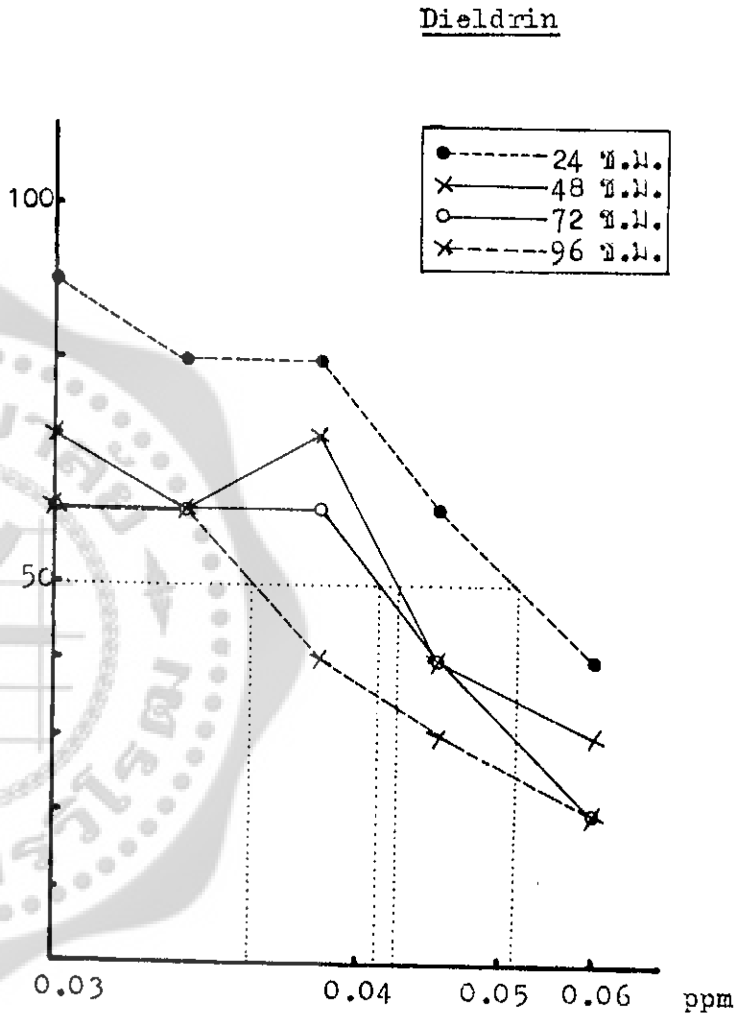
อุณหภูมิ	ความเข้มข้นของ Hg (ppm)	% ที่อยู่รอดในเวลา 24 ช.ม.	48ช.ม.	72 ช.ม.	96ช.ม.	ความเข้มข้นของ Dieldrin (ppm)	% ที่อยู่รอดในเวลา 24 ช.ม.	48ช.ม.	72 ช.ม.	96ช.ม.
28-30°c	control	100	100	100	100	control	100	100	100	100
	0.08	100	90	90	80	0.030	90	70	60	60
	0.09	100	80	70	60	0.033	80	60	60	60
	0.11	90	70	50	40	0.038	80	70	60	40
	0.14	70	50	40	30	0.045	60	40	40	30
	0.20	50	40	20	20	0.060	40	30	20	20

หมายเหตุ Hg as $HgCl_2$

ปลาตะเพียนขาว



TLm 24 ช.ม. = 0.20 ppm
TLm 48 ช.ม. = 0.14 ppm
TLm 72 ช.ม. = 0.11 ppm
TLm 96 ช.ม. = 0.10 ppm



TLm 24 ช.ม. = 0.052 ppm
TLm 48 ช.ม. = 0.043 ppm
TLm 72 ช.ม. = 0.041 ppm
TLm 96 ช.ม. = 0.035 ppm

รูปที่ 3.18 แสดงผลของ Hg และ Dieldrin ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ต่อเปอร์เซ็นต์การอยู่รอดของปลาตะเพียนขาว ใน 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง

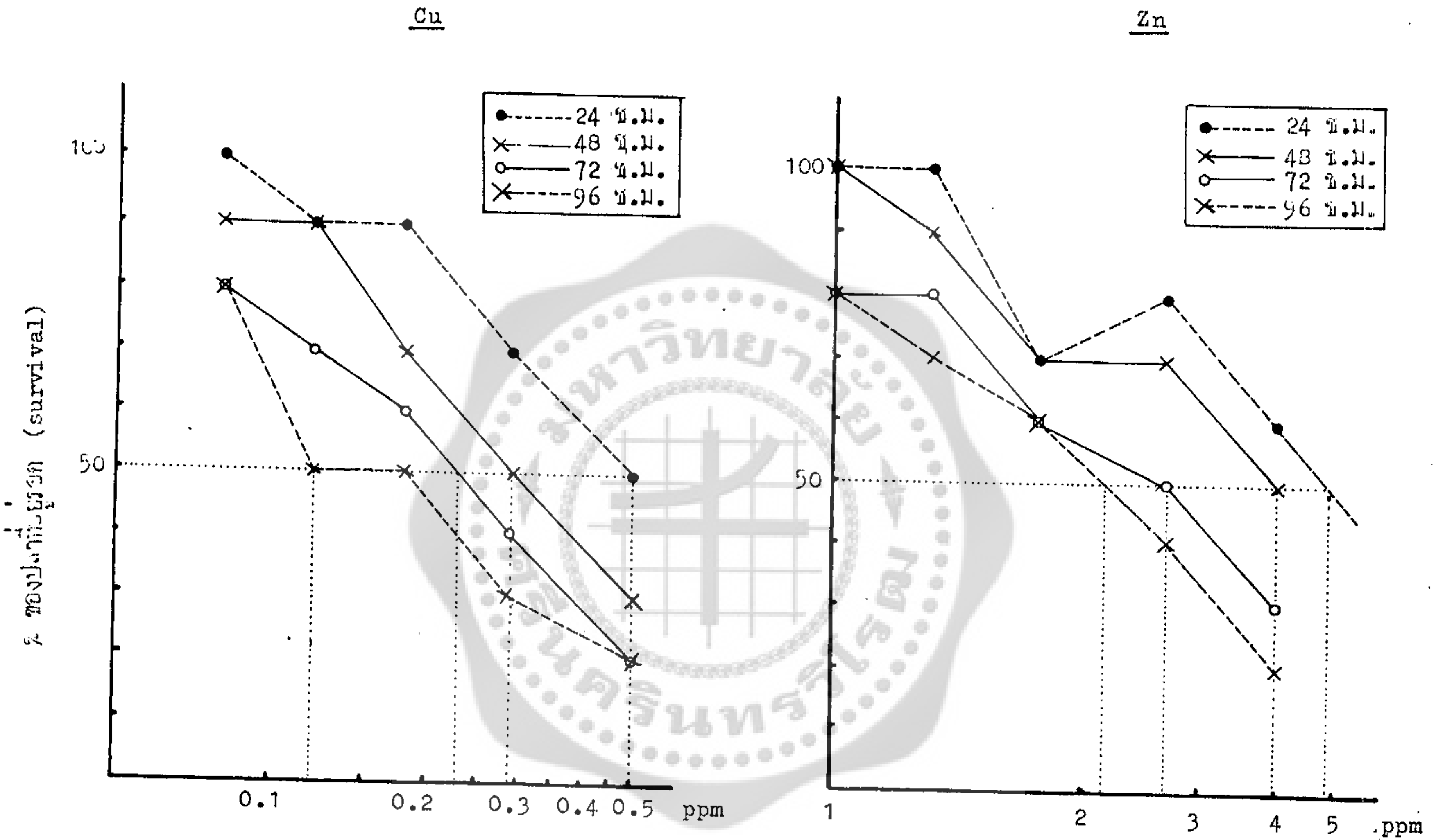
ตารางที่3.19แสดงผลความเข้มข้นของ Cu และ Zn ที่มีต่อการอยู่รอดของปลาตะเพียนขาว (*Puntius gonionotus*)

อุณหภูมิ	ความเข้มข้นของ Cu (ppm)	% ที่อยู่รอดในเวลา				ความเข้มข้นของ Zn (ppm)	% ที่อยู่รอดในเวลา			
		24 ช.ม.	48 ช.ม.	72ช.ม.	96 ช.ม.		24ช.ม.	48ช.ม.	72ช.ม.	96 ช.ม.
28-30°c	control	100	100	100	100	control	100	100	100	100
	0.08	100	90	80	80	1.00	100	100	80	80
	0.12	90	90	70	50	1.27	100	90	80	70
	0.18	90	70	60	50	1.73	70	70	60	60
	0.29	70	50	40	30	2.53	80	70	50	40
	0.50	50	30	20	20	4.00	60	50	30	20

หมายเหตุ Cu as $CuSo_4$

Zn as $ZnSo_4$

ปลาตะเพียนขาว



TLm	24 ช.ม.	=	0.50	ppm	
TLm	48 ช.ม.	=	0.29	ppm	
TLm	72 ช.ม.	=	0.23	ppm	
TLm	96 ช.ม.	=	0.17	ppm	

TLm	24 ช.ม.	=	4.9	ppm
TLm	48 ช.ม.	=	4.0	ppm
TLm	72 ช.ม.	=	2.5	ppm
TLm	96 ช.ม.	=	2.2	ppm

รูปที่ 3.19 แสดงผลของ Cu และ Zn ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ต่อเปอร์เซนต์การอยู่รอดของปลาตะเพียนขาวใน 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง

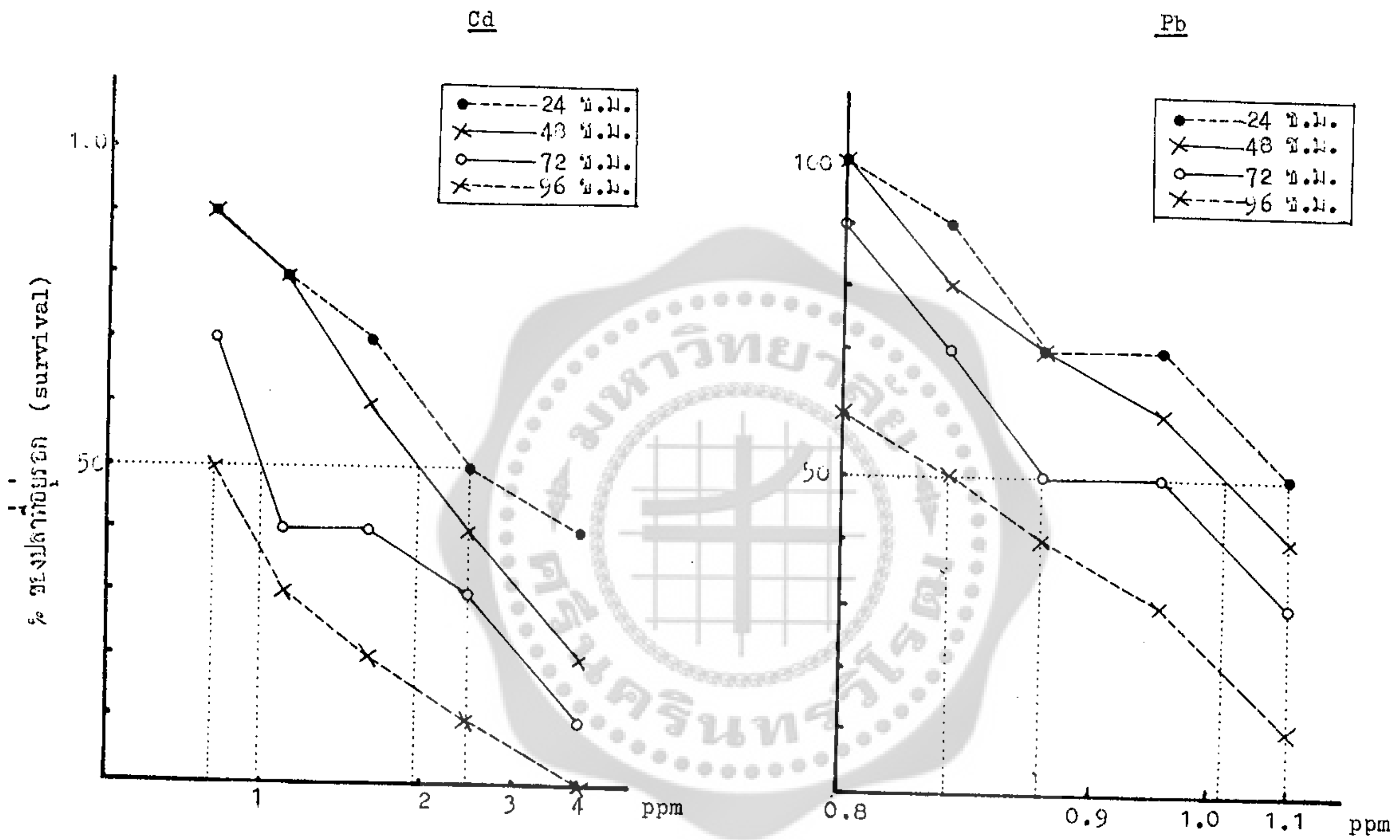
ตารางที่ 3.20 แสดงผลความเข้มข้นของ Cd และ Pb ที่มีต่อการอยู่รอดของปลา ตะเพียนขาว (*Puntius gonionotus*)

อุณหภูมิ	ความเข้มข้นของ Cd (ppm)	% ที่อยู่รอดในเวลา				ความเข้มข้นของ Pb (ppm)	% ที่อยู่รอดในเวลา			
		24 ช.ม.	48 ช.ม.	72 ช.ม.	96 ช.ม.		24 ช.ม.	48 ช.ม.	72 ช.ม.	96 ช.ม.
28-30°C	control	100	100	100	100	control	100	100	100	100
	0.80	90	90	70	50	0.80	100	100	90	60
	1.08	80	80	40	30	0.83	90	80	70	50
	1.58	70	60	40	20	0.87	70	70	50	40
	2.44	50	40	30	10	0.95	70	60	50	30
	4.00	40	20	10	0	1.10	50	40	30	10

หมายเหตุ Cd as $CdCl_2$

Pb as $PbSo_4$

ปลาตะเพียนขาว



TLm 24 ช.ม. = 2.44 ppm
TLm 48 ช.ม. = 1.95 ppm
TLm 72 ช.ม. = 0.97 ppm
TLm 96 ช.ม. = 0.80 ppm

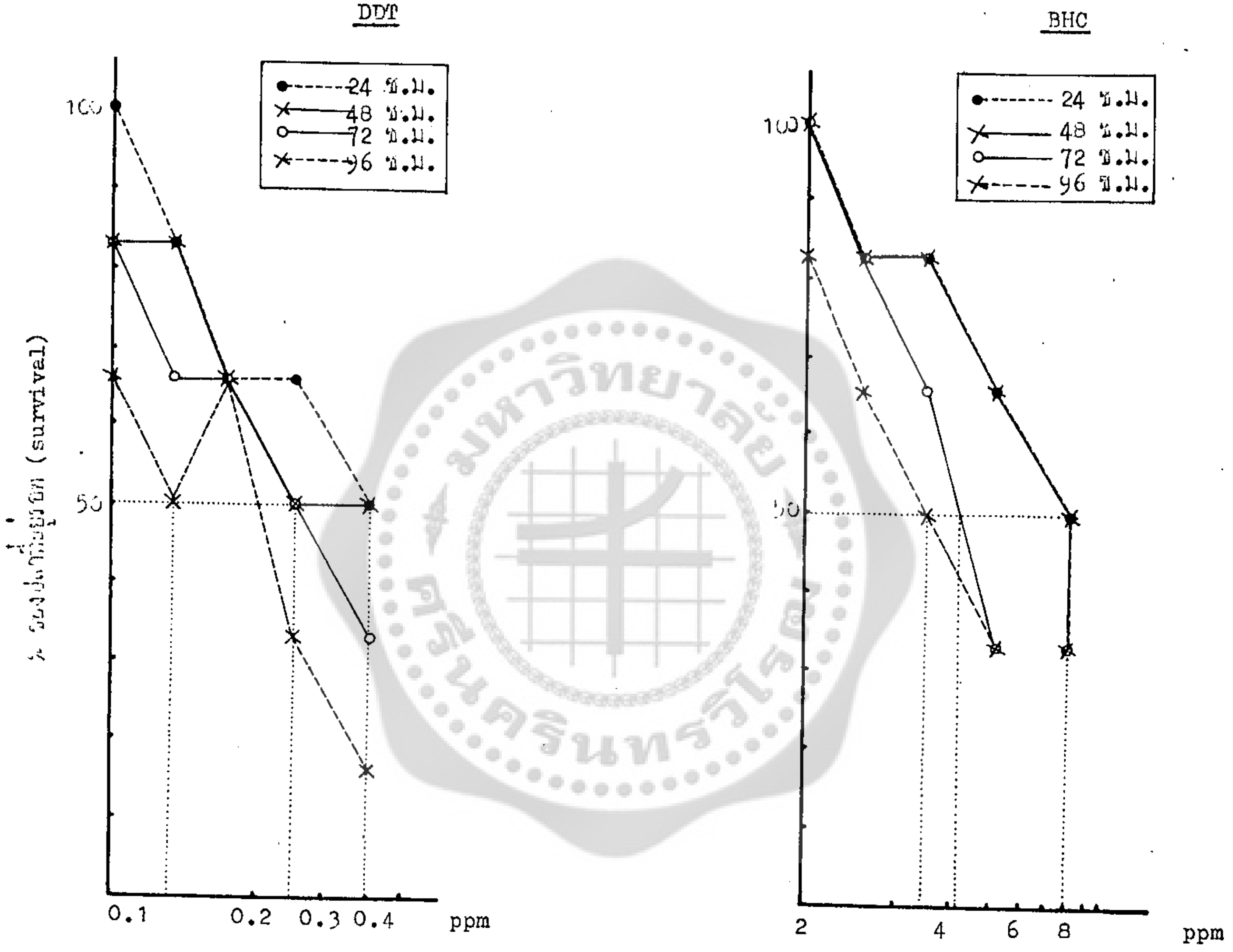
TLm 24 ช.ม. = 1.10 ppm
TLm 48 ช.ม. = 1.01 ppm
TLm 72 ช.ม. = 0.87 ppm
TLm 96 ช.ม. = 0.83 ppm

รูปที่ 3.20 แสดงผลของ Cd และ Pb ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ต่อเปอร์เซ็นต์การอยู่รอดของปลาตะเพียนขาว ใน 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง

ตารางที่ 3.21 แสดงผลความเข้มข้นของ DDT และ BHC ที่มีต่อการอยู่รอดของปลา ยี่สกเทศ (*Labeo rohita*)

อุณหภูมิ	ความเข้มข้นของ DDT (ppm)	% ที่อยู่รอดในเวลา				ความเข้มข้นของ BHC (ppm)	% ที่อยู่รอดในเวลา			
		24 ช.ม.	48 ช.ม.	72 ช.ม.	96 ช.ม.		24 ช.ม.	48 ช.ม.	72 ช.ม.	96 ช.ม.
28-30°c	control	100	100	100	100	control	100	100	100	100
	0.10	100	83.3	83.3	66.7	2.00	100	100	100	83.3
	0.13	83.3	83.3	66.7	50	2.53	83.3	83.3	83.3	66.7
	0.17	66.7	66.7	66.7	66.7	3.47	83.3	83.3	66.7	50
	0.25	66.7	50	50	33.3	5.07	66.6	66.7	33.3	33.3
	0.40	50	50	33.3	16.7	8.00	50	50	33.3	33.3

ปลายี่สกเทศ



TLm 24 ช.ม. = 0.4 ppm
TLm 48,72 ช.ม. = 0.25 ppm
TLm 96 ช.ม. = 0.13 ppm

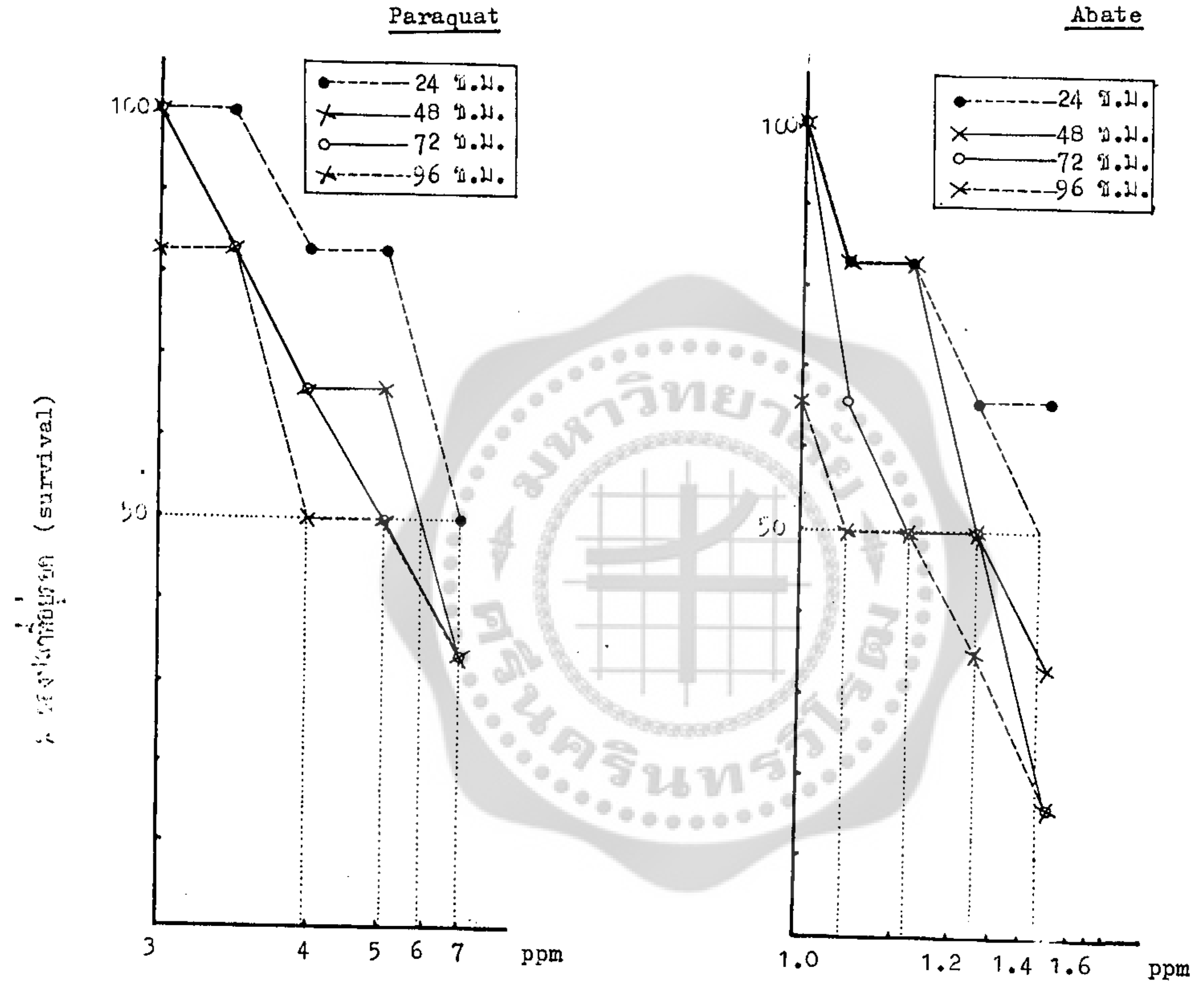
TLm 24,48 ช.ม. = 8 ppm
TLm 72 ช.ม. = 4.1 ppm
TLm 96 ช.ม. = 3.47 ppm

รูปที่ 3.21 แสดงผลของ DDT และ BHC ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ กันที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การอยู่รอดของปลายี่สกเทศใน 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง

ตารางที่3.22แสดงผลความเข้มข้นของ Paraquat และ Abate ที่มีต่อการอยู่รอดของปลา ยี่สกเทศ (*Labeo rohita*)

อุณหภูมิ	ความเข้มข้นของ Paraquat (ppm)	% ที่อยู่รอดในเวลา 24 ช.ม.	48 ช.ม.	72 ช.ม.	96 ช.ม.	ความเข้มข้นของ Abate (ppm)	% ที่อยู่รอดในเวลา 24 ช.ม.	48 ช.ม.	72 ช.ม.	96 ช.ม.
28-30°c	control	100	100	100	100	control	100	100	100	100
	3.00	100	100	100	83.3	1.00	100	100	100	66.7
	3.36	100	83.3	83.3	83.3	1.04	83.3	83.3	66.7	50
	3.98	83.3	66.7	66.7	50	1.12	83.3	83.3	50	50
	5.04	83.3	66.7	50	50	1.26	66.7	50	50	33.3
	7.00	50	33.3	33.3	33.3	1.50	66.7	33.3	16.7	16.7

ปลายี่สกเทศ



TLm	24	ช.ม. =	7.00	ppm
TLm	48	ช.ม. =	5.90	ppm
TLm	72	ช.ม. =	5.04	ppm
TLm	96	ช.ม. =	3.98	ppm

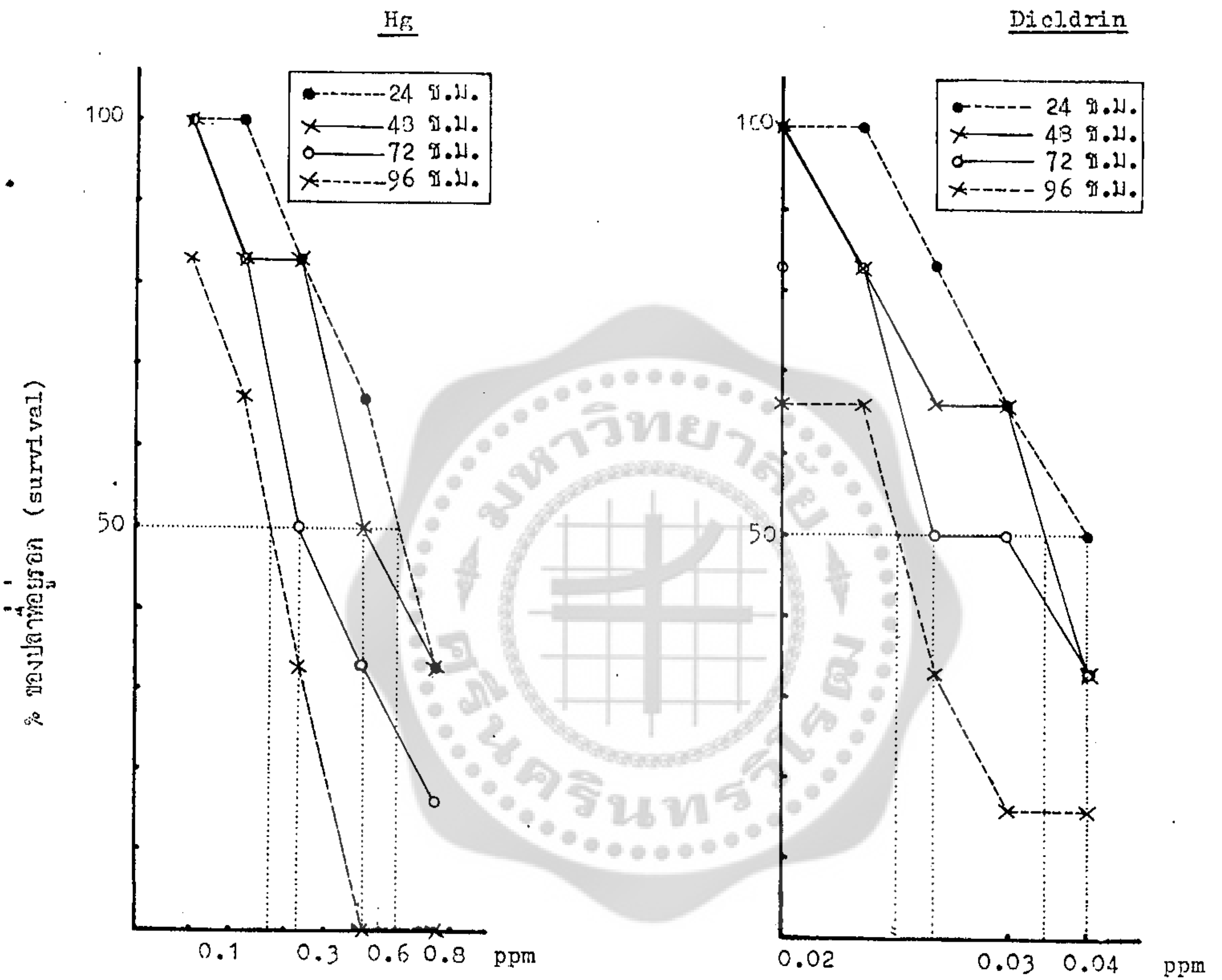
TLm	24	ช.ม. =	1.46	ppm
TLm	48	ช.ม. =	1.26	ppm
TLm	72	ช.ม. =	1.12	ppm
TLm	96	ช.ม. =	1.04	ppm

รูปที่ 3.22 แสดงผลของ Paraquat และ Abate ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ต่อเปอร์เซนต์การอยู่รอดของปลายี่สกเทศใน 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง

ตารางที่ 3.23 แสดงผลความเข้มข้นของ Hg และ Dieldrin ที่มีต่อการอยู่รอดของปลา ยี่สกเทศ (*Labeo rohita*)

อุณหภูมิ	ความเข้มข้นของ Hg (ppm)	% ที่อยู่รอดในเวลา 24 ชม.	48 ชม.	72 ชม.	96 ชม.	ความเข้มข้นของ Dieldrin (ppm)	% ที่อยู่รอดในเวลา 24 ชม.	48 ชม.	72 ชม.	96 ชม.
28-30°C	control	100	100	100	100	control	100	100	100	100
	0.05	100	100	100	83.3	0.020	100	100	83.3	66.7
	0.12	100	83.3	83.3	66.7	0.022	100	83.3	83.3	66.7
	0.23	83.3	83.3	50	33.3	0.025	83.3	66.7	50	33.3
	0.43	66.7	50	33.3	0	0.030	66.7	66.7	50	16.7
	0.80	33.3	33.3	16.7	0	0.040	50	33.3	33.3	16.7

<u>หมายเหตุ</u> Hg as $HgCl_2$



TLm 24 ช.ม. = 0.58 ppm
TLm 48 ช.ม. = 0.43 ppm
TLm 72 ช.ม. = 0.23 ppm
TLm 96 ช.ม. = 0.17 ppm

TLm 24 ช.ม. = 0.040 ppm
TLm 48 ช.ม. = 0.034 ppm
TLm 72 ช.ม. = 0.025 ppm
TLm 96 ช.ม. = 0.023 ppm

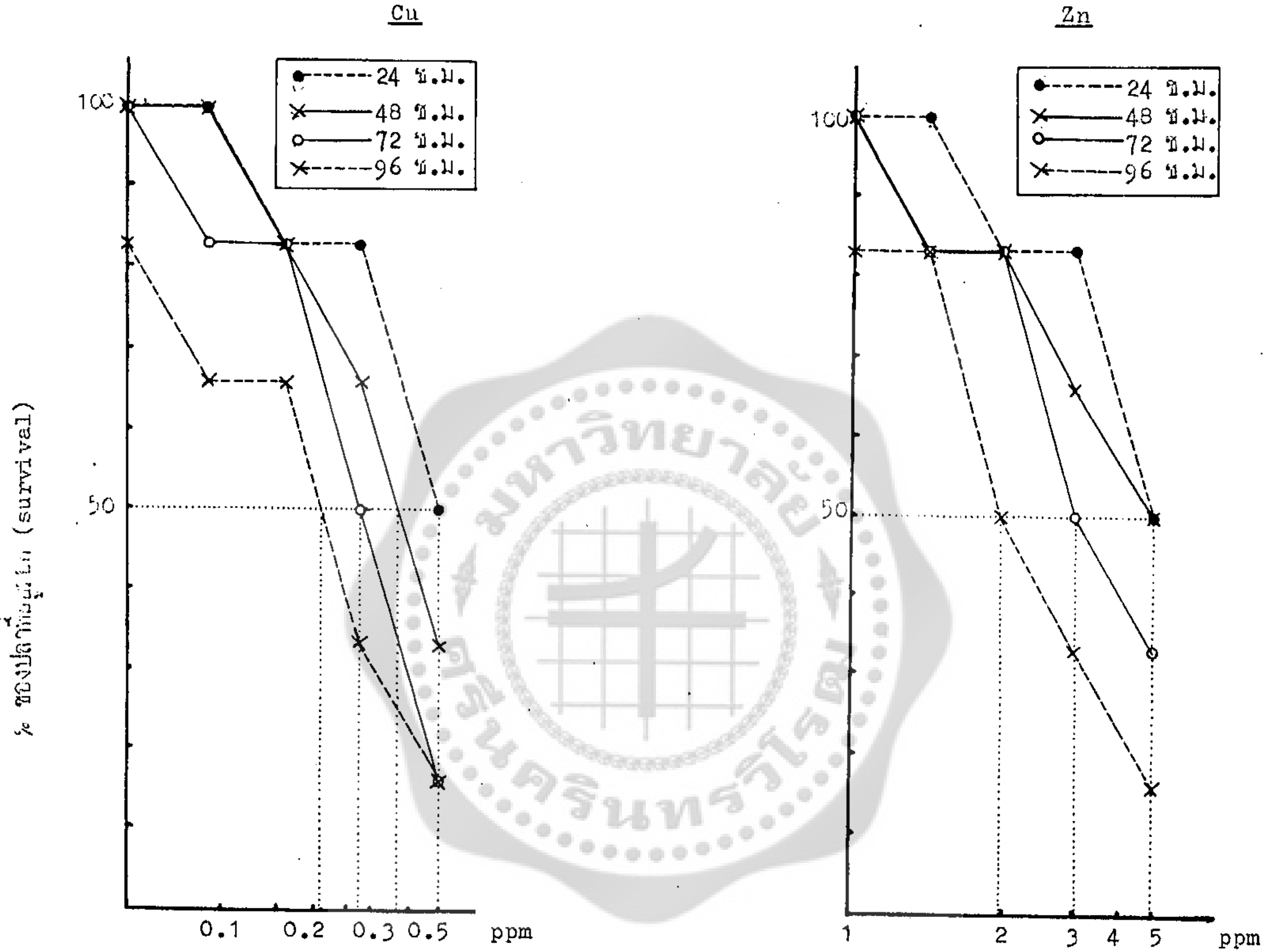
รูปที่ 3.23 แสดงผลของ Hg และ Dieldrin ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ต่อเปอร์เซ็นต์การอยู่รอดของปลาที่ทดลองใน 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง

ตารางที่3.24แสดงผลความเข้มข้นของ Cu และ Zn ที่มีต่อการอยู่รอดของปลา ยี่สกเทศ (*Labeo rohita*)

อุณหภูมิ	ความเข้มข้นของ Cu (ppm)	% ที่อยู่รอดในเวลา				ความเข้มข้นของ Zn (ppm)	% ที่อยู่รอดในเวลา			
		24 ช.ม.	48 ช.ม.	72 ช.ม.	96 ช.ม.		24 ช.ม.	48 ช.ม.	72 ช.ม.	96 ช.ม.
28-30°C	control	100	100	100	100	control	100	100	100	100
	0.05	100	100	100	83.3	1.00	100	100	100	83.3
	0.09	100	100	83.3	66.7	1.36	100	83.3	83.3	83.3
	0.16	83.3	83.3	83.3	66.7	1.98	83.3	83.3	83.3	50
	0.28	83.3	66.7	50	33.3	3.04	83.3	66.7	50	33.3
	0.50	50	33.3	16.7	16.7	5.00	50	50	33.3	16.7

หมายเหตุ Cu as $CuSo_4$

Zn as $ZnSo_4$



TLm 24 ช.ม. = 0.50 ppm
TLm 48 ช.ม. = 0.37 ppm
TLm 72 ช.ม. = 0.28 ppm
TLm 96 ช.ม. = 0.21 ppm

TLm 24,48 ช.ม. = 5.0 ppm
TLm 72 ช.ม. = 3.04 ppm
TLm 96 ช.ม. = 1.98 ppm

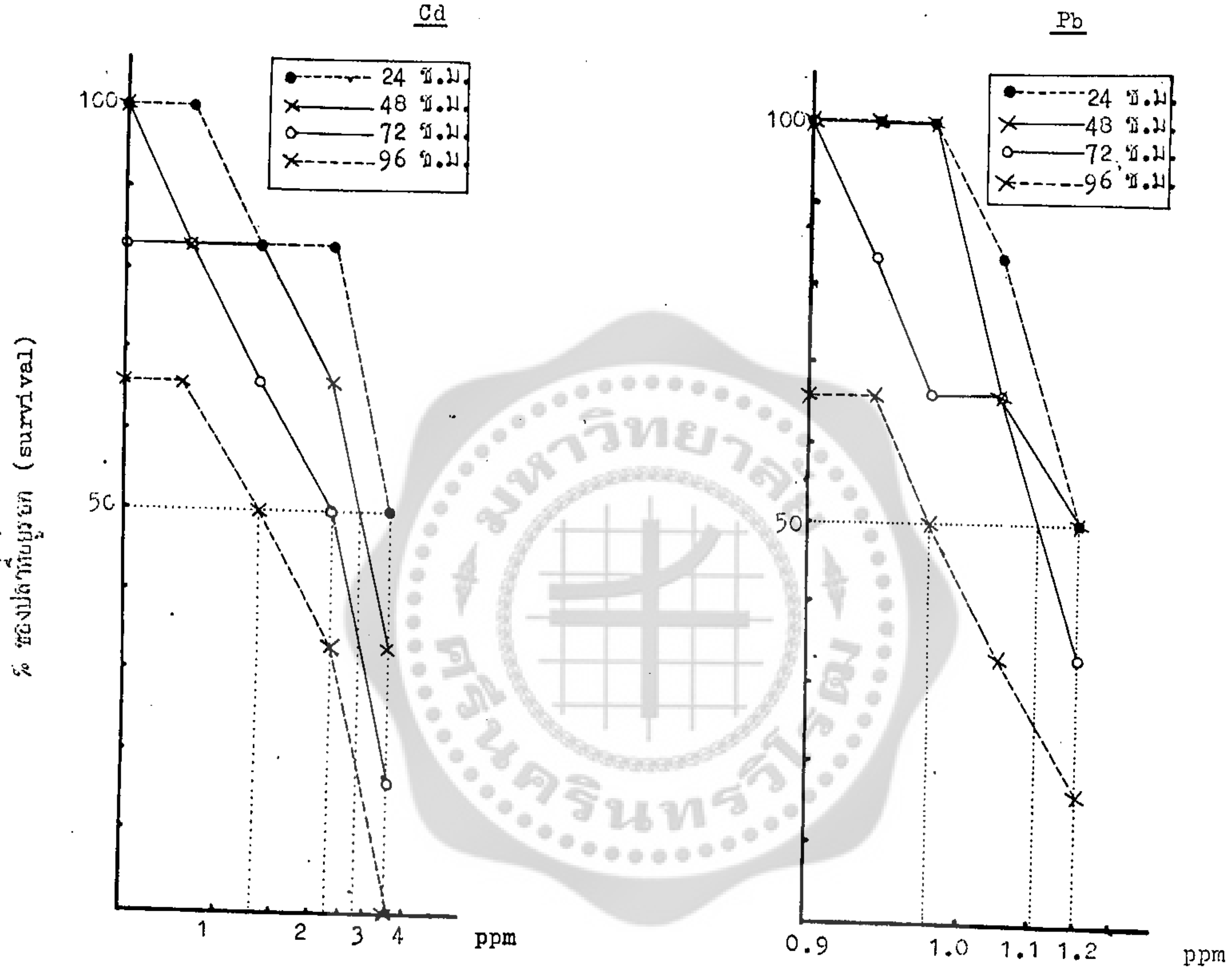
รูปที่ 3.24 แสดงผลของ Cu และ Zn ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ต่อเปอร์เซ็นต์การอยู่รอดของปลายี่สกเทศใน 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง

ตารางที่3.25แสดงผลความเข้มข้นของ Cd และ Pb ที่มีต่อการอยู่รอดของปลา ยี่สกเทศ (*Labeo rohita*)

อุณหภูมิ	ความเข้มข้นของ Cd (ppm)	% ที่อยู่รอดในเวลา				ความเข้มข้นของ Pb (ppm)	% ที่อยู่รอดในเวลา			
		24 ช.ม.	48 ช.ม.	72 ช.ม.	96 ช.ม.		24 ช.ม.	48 ช.ม.	72 ช.ม.	96 ช.ม.
28-30°c	control	100	100	100	100	control	100	100	100	100
	0.50	100	100	83.3	66.7	0.90	100	100	100	66.7
	0.81	100	83.3	83.3	66.7	0.03	100	100	83.3	66.7
	1.36	83.3	83.3	66.7	50	0.97	100	100	66.7	50
	2.29	83.3	66.7	50	33.3	1.05	83.3	66.7	66.7	33.3
	3.50	50	33.3	16.7	0	1.20	50	50	33.3	16.7

หมายเหตุ Cd as $CdCl_2$

Pb as $PbSo_4$



TLm 24 ช.ม. = 3.5 ppm
TLm 48 ช.ม. = 2.8 ppm
TLm 72 ช.ม. = 2.3 ppm
TLm 96 ช.ม. = 1.4 ppm

TLm 24,48 ช.ม. = 1.20 ppm
TLm 72 ช.ม. = 1.12 ppm
TLm 96 ช.ม. = 0.97 ppm

รูปที่ 3.25 แสดงผลของ Cu และ Pb ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ต่อเปอร์เซ็นต์การอยู่รอดของปลายี่สกเทศใน 24, 43, 72 และ 96 ชั่วโมง

3.2 <u>ผลการทดลองความร้ายแรงของสารอันตรายโดยใช้แพลงค์ตอนพืชเป็นตัวประเมินผล</u>

ในการทดลองนี้ ได้ใช้วิธีเติมสารอันตรายที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ลงในสาหร่ายที่ได้เตรียมเพาะเลี้ยงไว้ แล้วสังเกตดูผลของสารอันตรายที่มีต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ กัน โดยใช้วิธีนับเซลการทดลองนี้ได้ใช้สารอันตรายในการทดลอง 10 ชนิดดังนี้

1. สาร DDT
2. " BHC
3. " Paraquat
4. " Abate
5. " Dieldrin
6. " Hg
7. " Cu
8. " Zn
9. " Cd
10. " Pb

ส่วนสาหร่ายที่ใช้ในการทดลองมี 3 ชนิดคือ

1. <u>Chlorella</u> sp.
2. <u>Ankistrodesmus</u> sp.
3. <u>Scenedesmus</u> sp.

ผลการทดลองได้ทำเป็นตารางและกราฟแสดงผลของสารอันตรายต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายชนิดต่าง ๆ ดังรายละเอียดตารางที่ 3.26 ถึง 3.40 และรูปที่ 3.26 ถึงรูปที่ 3.40

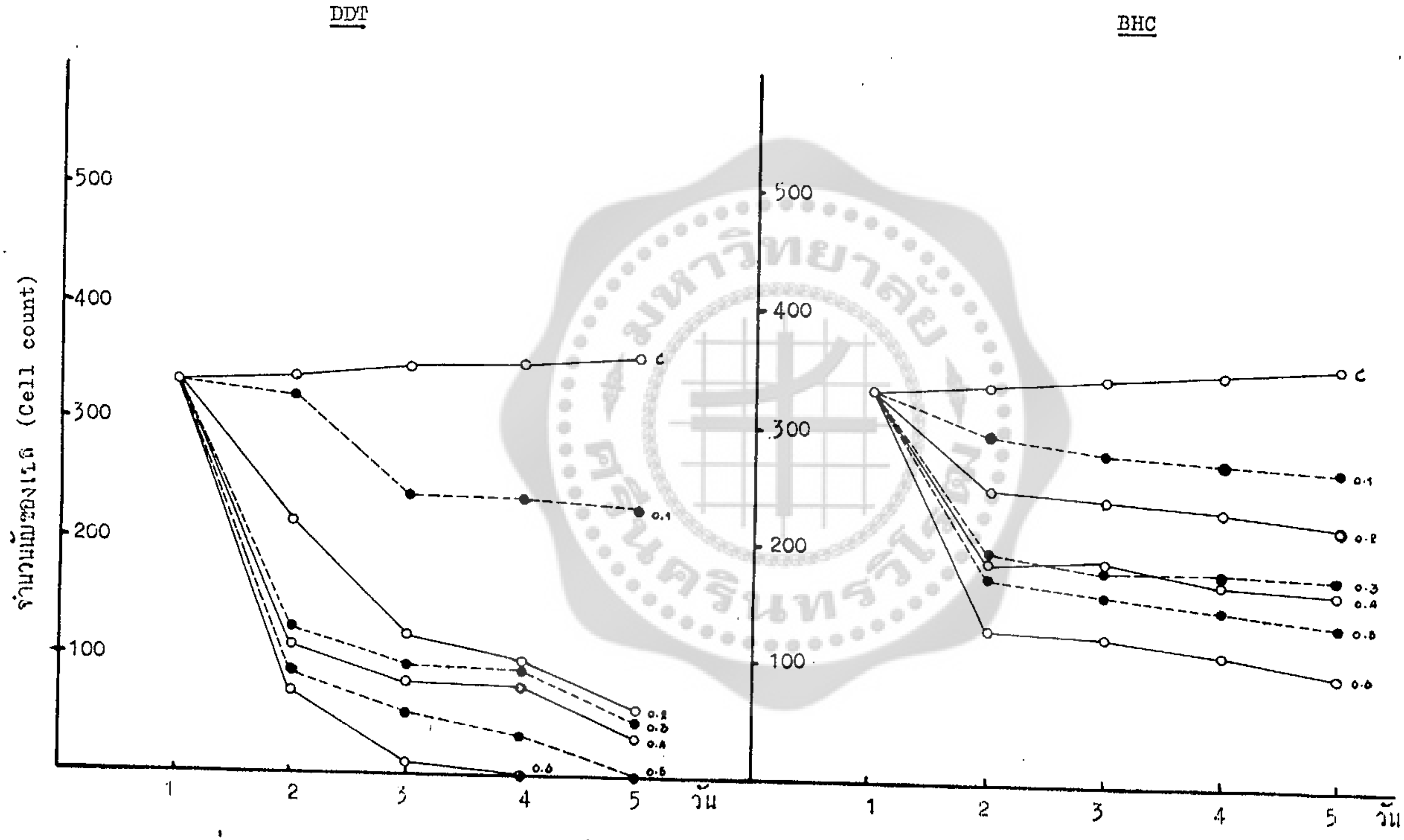
ตารางที่ 32 แสดงการนับจำนวนเซลสาหร่ายชนิด Chlorella sp.

วันที่	จำนวนเซลของ control*	ชนิดของสาร DDT ความเข้มข้น (ppm)						ชนิดของสาร BHC ความเข้มข้น (ppm)					
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
1	334	334	334	334	334	334	334	334	334	334	334	334	334
2	338	321	216	125	110	88	71	296	250	198	190	175	130
3	348	240	120	95	80	52	10	234	244	185	186	164	126
4	350	236	99	90	75	35	–	275	235	180	175	150	114
5	356	230	58	47	31	–	–	270	220	177	165	135	95

* จำนวนเซล = จำนวนตัวเลขที่นับ x5 หมื่นเซล/ลบ.ซม.

หมายเหตุ สำหรับ DDT กับ BHC เซลจะรวมเป็นกลุ่มและเล็กสีซีด ประมาณวันที่ 3 ของการทดลอง จะเกิดเมือกสีขาวขึ้นจับอยู่ที่ผิวน้ำ.

Chlorella sp.



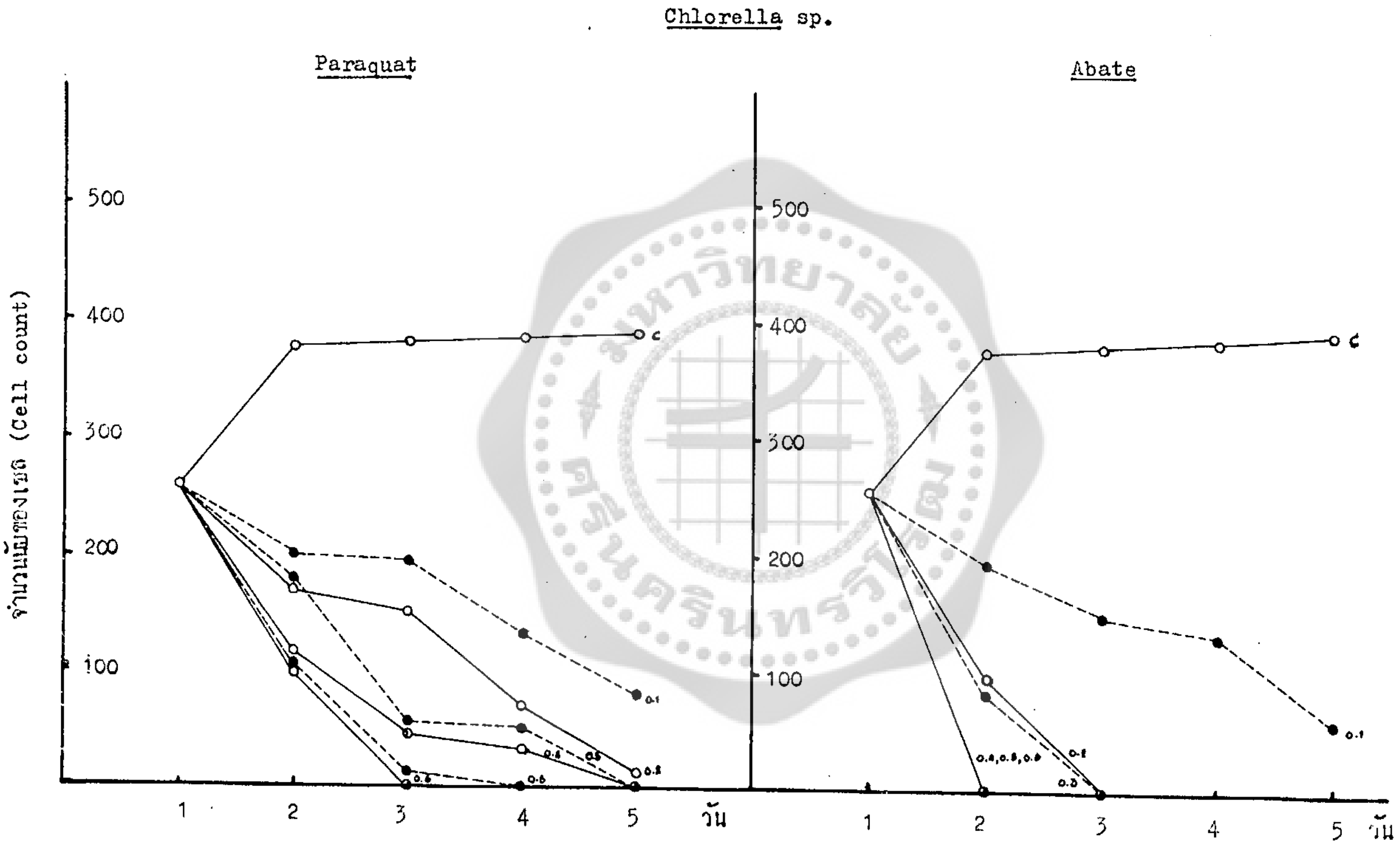
รูปที่ 3.26 แสดงผลของ DDT และ BHC ที่ระดับความเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 และ 0.6 ppm ต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย Chlorella sp.

ตารางที่ 3.27 แสดงการนับจำนวนเซลสาหร่ายชนิด Chlorella sp.

วันที่	จำนวนเซลของ control	ชนิดของสาร Paraquat ความเข้มข้น (ppm)						ชนิดของสาร Abate ความเข้มข้น (ppm)					
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
1	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260
2	380	201	172	130	118	110	100	199	98	80	–	–	–
3	384	196	155	59	46	14	–	154	–	–	–	–	–
4	388	135	74	53	35	–	–	135	–	–	–	–	–
5	391	11	–	–	–	–	–	65	–	–	–	–	–

* จำนวนเซล = จำนวนตัวเลขที่นับ x 5 หมื่นเซล/ลบ.ซม.

หมายเหตุ สำหรับ Paraquat เซลเล็ก ส่วน Abate นั้นเซลเล็กลงมาก

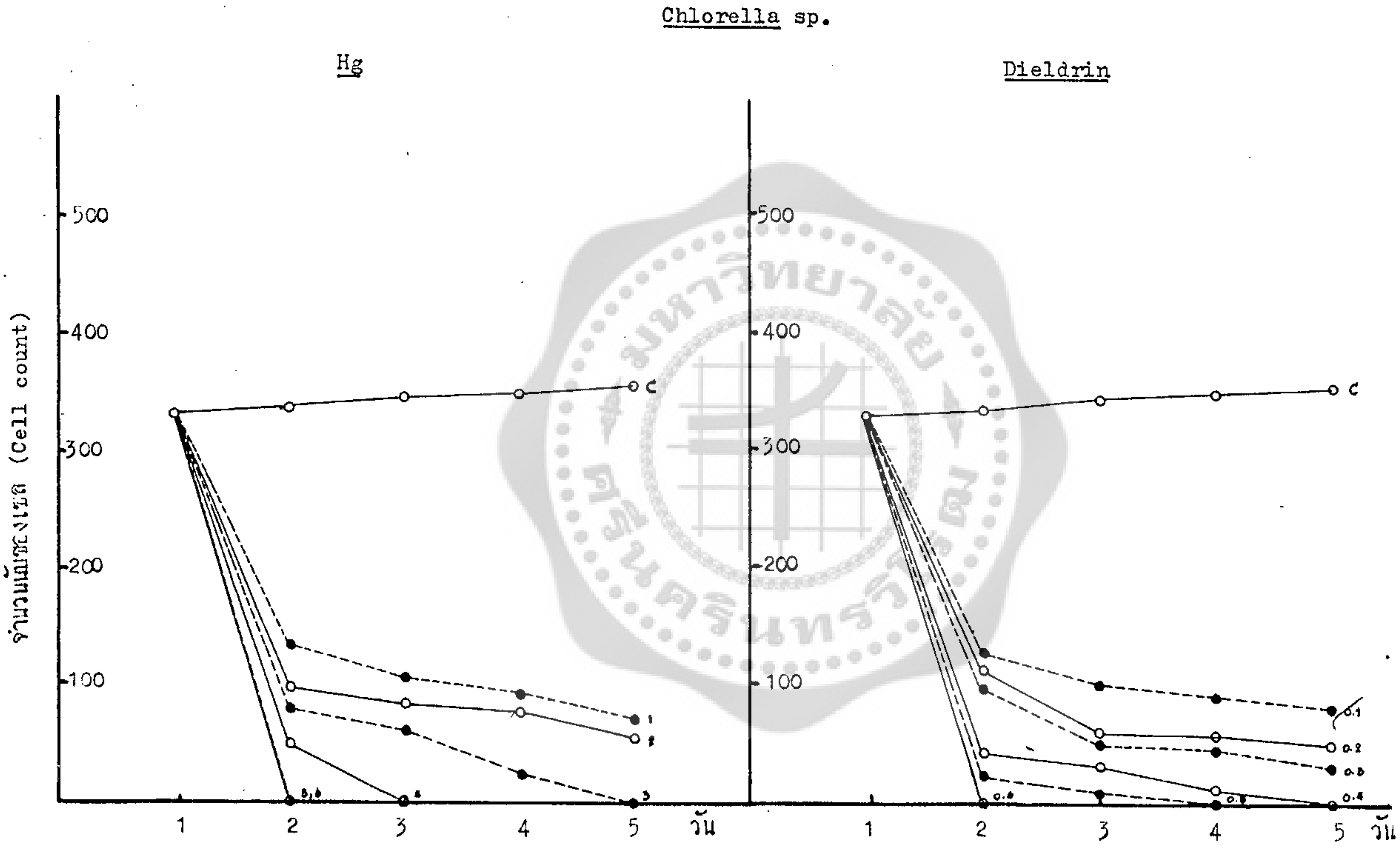


รูปที่3.27 แสดงผลของ Paraquat และ Abate ที่ระดับความเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 และ 0.6 ppm ต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย Chlorella sp.

ตารางที่3.28 แสดงการนับจำนวนเซลสาหร่ายชนิด *Chlorella* sp.

วันที่	จำนวนเซลของ control	ชนิดของสาร Hg as $HgCl_2$ ความเข้มข้น (ppm)						ชนิดของสาร Dieldrin ความเข้มข้น (ppm)					
		1	2	3	4	5	6	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
1	334	334	334	334	334	334	334	334	334	334	334	334	334
2	338	135	97	30	50	-	-	130	115	97	43	25	-
3	340	109	84	63	-	-	-	102	60	51	32	9	-
4	350	94	78	20	-	-	-	91	57	45	11	-	-
5	356	73	55	-	-	-	-	83	49	30	-	-	-

* จำนวนเซล = จำนวนตัวเลขที่นับ x5 หมื่นเซล/ลบ.ซม.



รูปที่ 3.2 แสดงผลของ Hg ที่ระดับความเข้มข้น 1, 2, 3, 4, 5, 6 ppm และ Dieldrin ที่ระดับความเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 และ 0.6 ppm ต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย Chlorella sp.

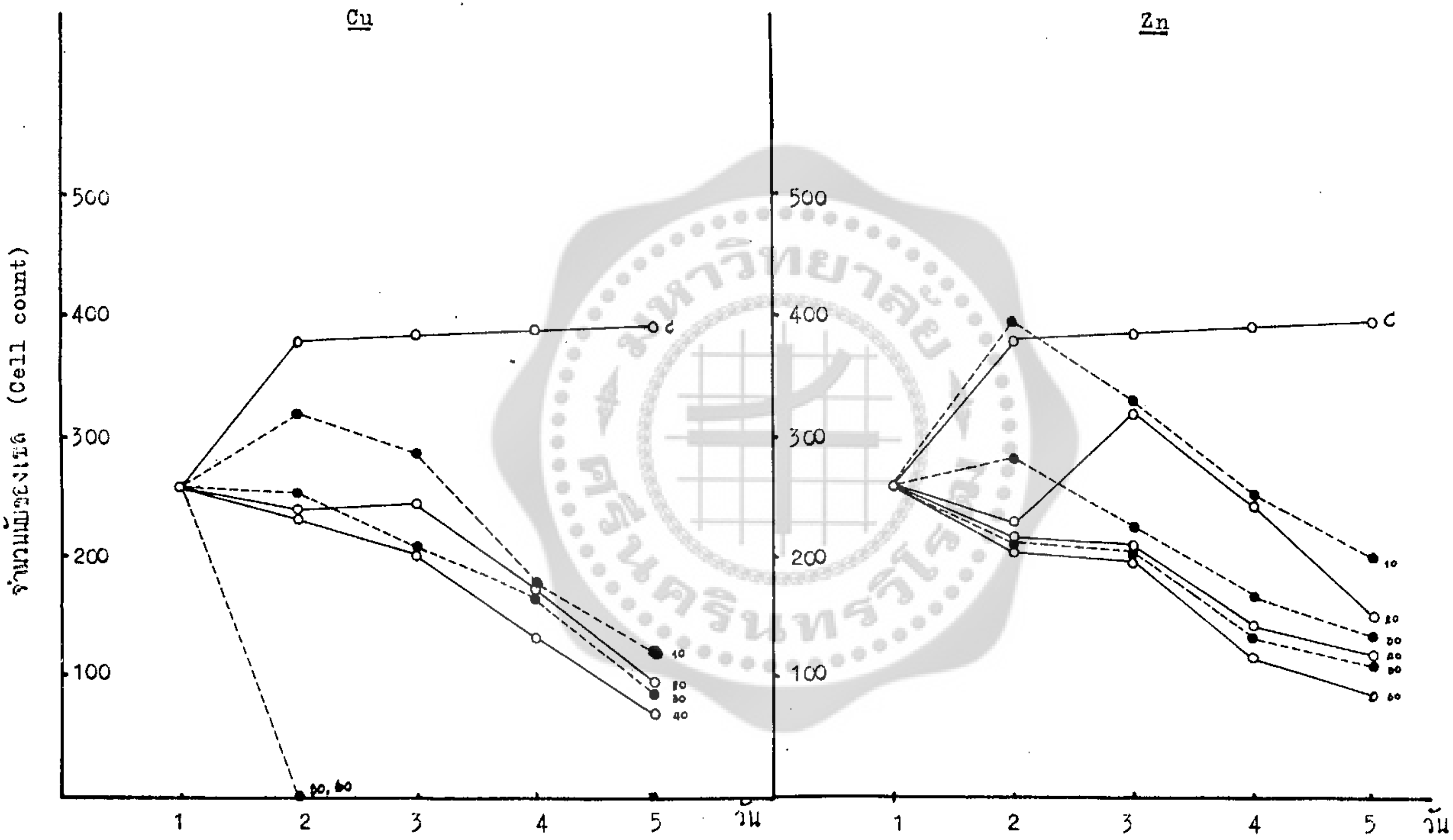
ตารางที่ 3.29แสดงการนับจำนวนเซลสาหร่ายชนิด **Chlorlla** sp.

วันที่	จำนวนเซลของ control	ชนิดของสาร Cu as. $CuSo_4$ ความเข้มข้น(ppm)						ชนิดของสาร Zn. as. $ZnSo_4$ ความเข้มข้น(ppm)					
		10	20	30	40	50	60	10	20	30	40	50	60
1	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260
2	380	320	241	288	236	—	—	393	230	281	218	215	207
3	384	289	246	218	204	—	—	330	320	228	210	208	198
4	388	180	175	166	159	—	—	254	241	169	143	132	115
5	391	120	95	84	70	—	—	196	150	134	118	108	85

* จำนวนเซล = จำนวนตัวเลขที่นับx 5 หมื่นเซล/ลบ.ซม.

<u>หมายเหตุ</u> สำหรับ Cu ที่ 50,60 ppm เซลจะจับกลุ่มเป็นก้อน และตกตะกอนอย่างรวดเร็วภายหลังจากการเติมสาร ส่วน 40 ppm จะสังเกตเห็นการจับกลุ่มตกตะกอนอยู่บ้าง.

Chlorella sp.



รูปที่3.29 แสดงผลของ Cu และ Zn ที่ระดับความเข้มข้น 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 ppm
ต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Chlorella* sp.

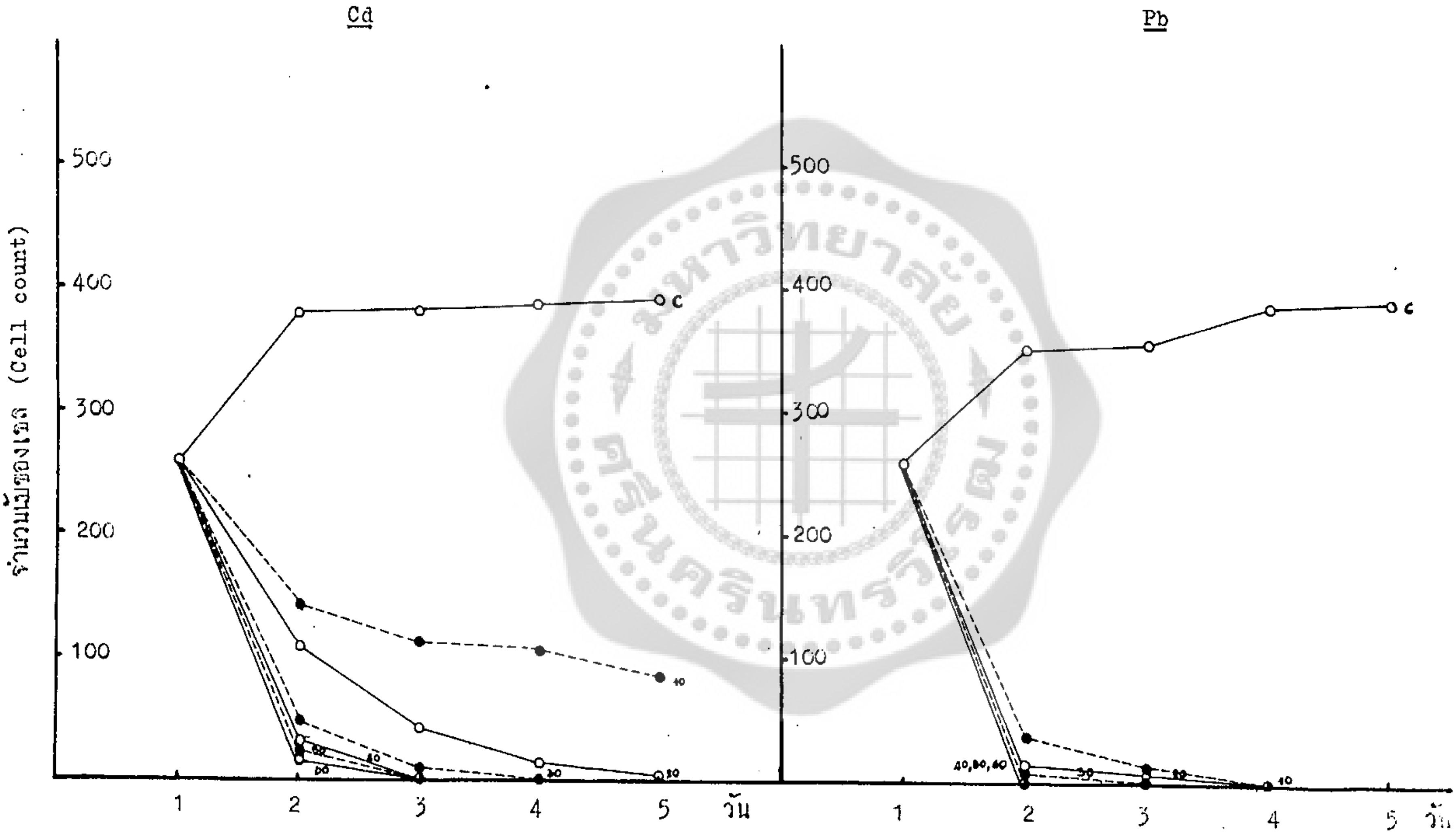
ตารางที่ 3.30 แสดงการนับจำนวนเซลสาหร่ายชนิด **Chlorella sp.**

วันที่	จำนวนเซลของ control	ชนิดของสาร Cd as $CdCl_2$ ความเข้มข้น (ppm)						ชนิดของสาร Pb as $PbSO_4$ ความเข้มข้น (ppm)					
		10	20	30	40	50	60	10	20	30	40	50	60
1	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260
2	380	145	109	46	24	30	18	40	11	5	–	–	–
3	384	114	43	9	–	–	–	14	2	–	–	–	–
4	388	107	11	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
5	391	87	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

* จำนวนเซล = จำนวนตัวเลขที่นับ x 5 หมื่นเซล/ลบ.ซม.

หมายเหตุ สำหรับ Cd กับ Pb เซลจะรวมกันเป็นกลุ่มสีซีด

Chlorella sp.



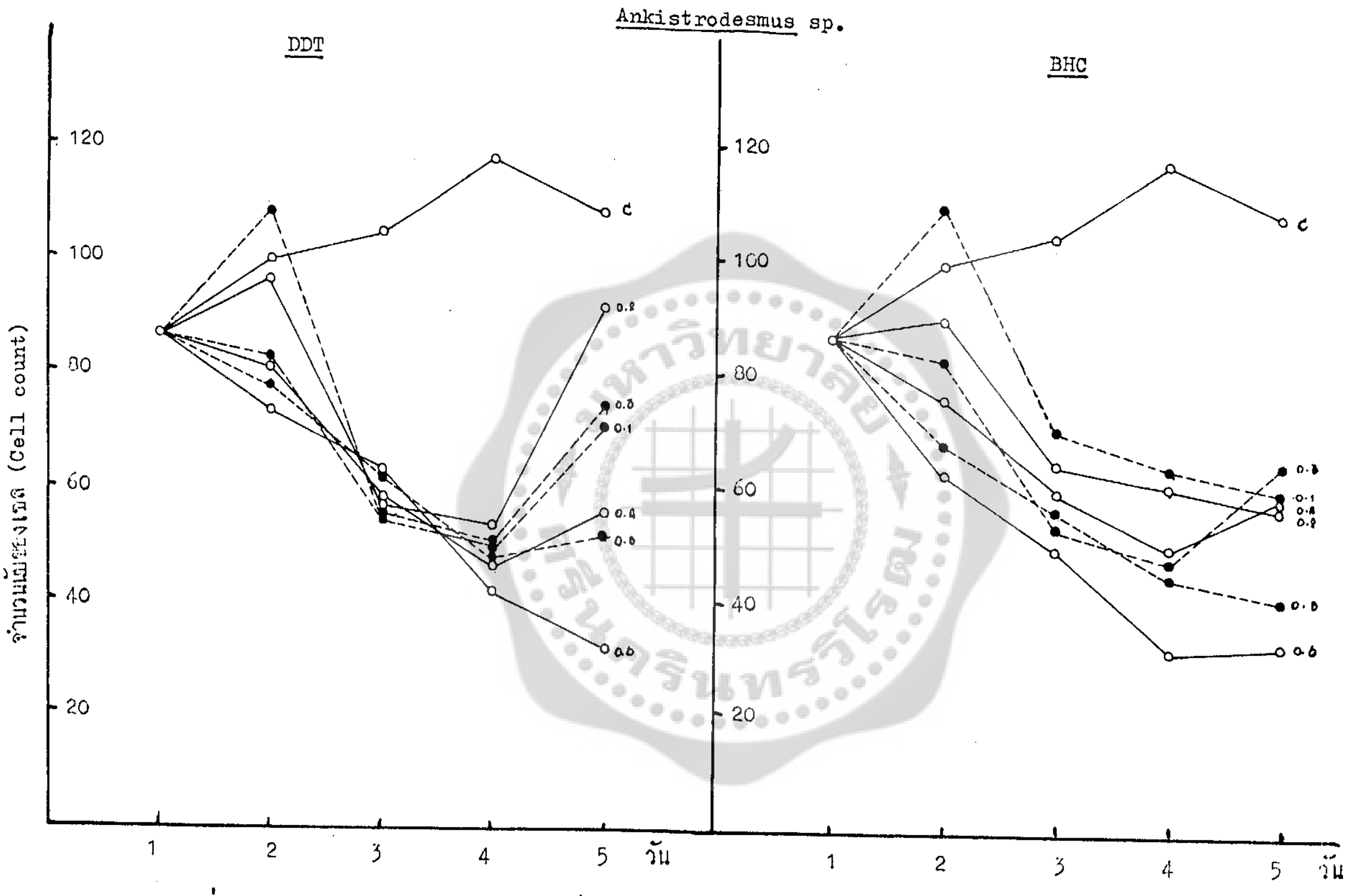
รูปที่3.30แสดงผลของ Cd และ Pb ที่ระดับความเข้มข้น 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 ppm
ต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Chlorella* sp.

ตารางที่ 3.31 แสดงการนับจำนวนเซลสาหร่ายชนิด <u>*Ankistrodesmus*</u> sp.

วันที่	จำนวนเซลของ control	ชนิดของสาร DDT ความเข้มข้น (ppm)						ชนิดของสาร BHC ความเข้มข้น (ppm)					
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
1	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87
2	100	83	97	109	81	78	74	110	90	83	76	68	63
3	105	55	57	56	58	62	63	71	65	54	60	57	50
4	118	50	54	51	47	48	42	64	61	48	50	45	32
5	109	71	92	75	56	52	32	60	57	65	58	41	33

* จำนวนเซล = จำนวนตัวเลขที่นับ x5 หมื่นเซล/ลบ.ซม.

<u>หมายเหตุ</u> สำหรับ DDT จะเกิดเมือกสีขาวจับอยู่ที่ผิวน้ำ ซึ่งในวันที่ 5 ของการทดลองที่ 0.1,0.2,0.3 ppm จะมีความเขียวเข้มขึ้นมา ส่วน BHC มีเมือกสีขาวปนอยู่ด้วยเหมือนกัน.



รูปที่ 3.31 แสดงผลของ DDT และ BHC ที่ระดับความเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 และ 0.6 ppm ต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย Ankistrodesmus sp.

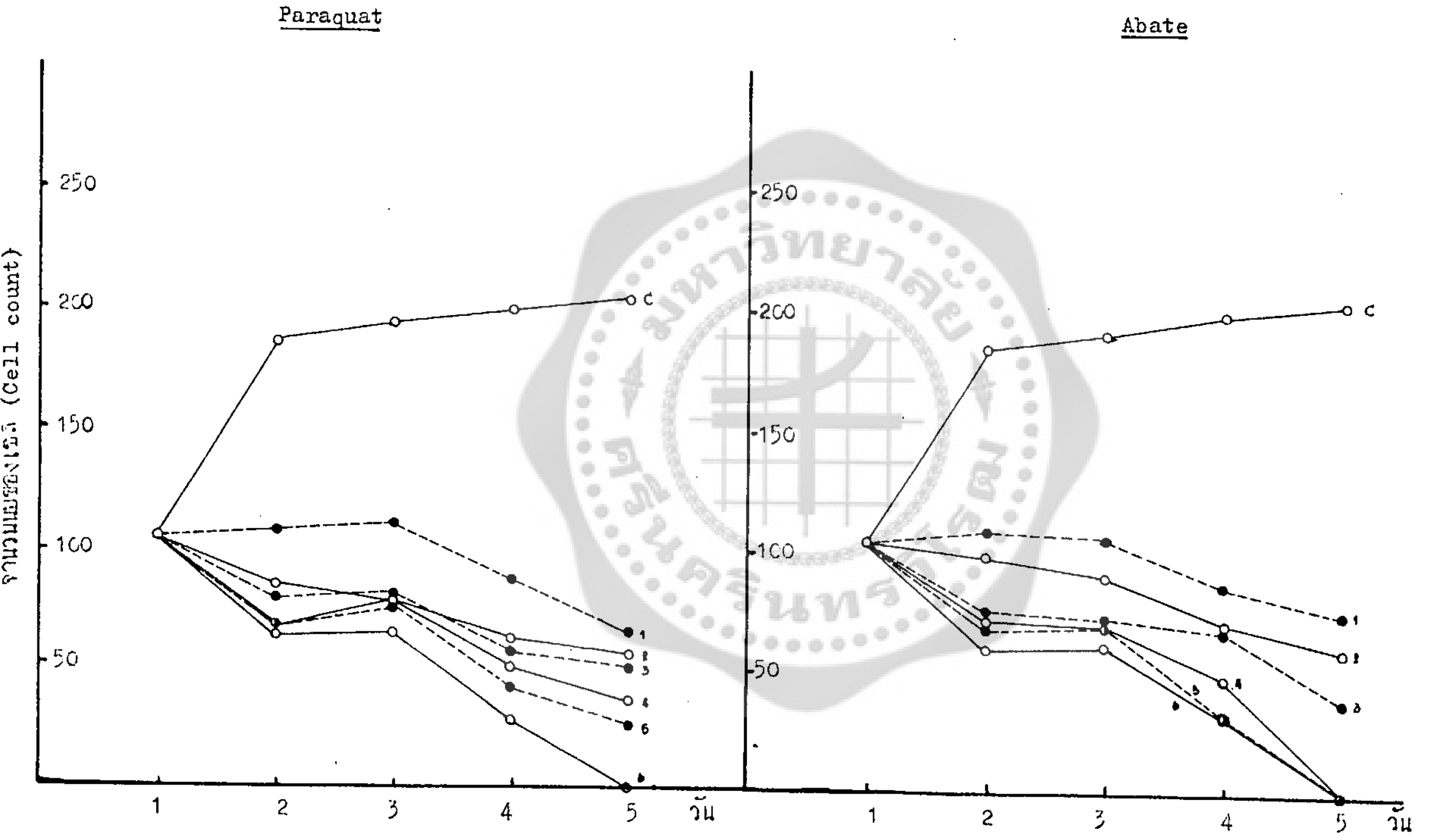
ตารางที่3.32แสดงการนับจำนวนเซลสาหร่ายชนิด *Ankistrodesmus* sp.

วันที่	จำนวนเซลของ control	ชนิดของสาร Paraquat ความเข้มข้น(ppm)						ชนิดของสาร Abate ความเข้มข้น (ppm)					
		1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
1	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105
2	186	107	84	78	80	80	66	114	99	75	72	69	60
3	194	110	79	80	78	77	65	112	90	73	71	70	61
4	200	87	62	58	50	44	28	89	70	68	47	32	31
5	205	66	57	50	38	26	–	75	59	35	–	–	–

* จำนวนเซล = จำนวนตัวเลขที่นับ x5 หมื่นเซล/ลบ.ซม.

หมายเหตุ สำหรับ Paraquat เซลจะจับเป็นกลุ่ม ส่วน Abate เซลขาวซีด.

Ankistrodesmus sp.



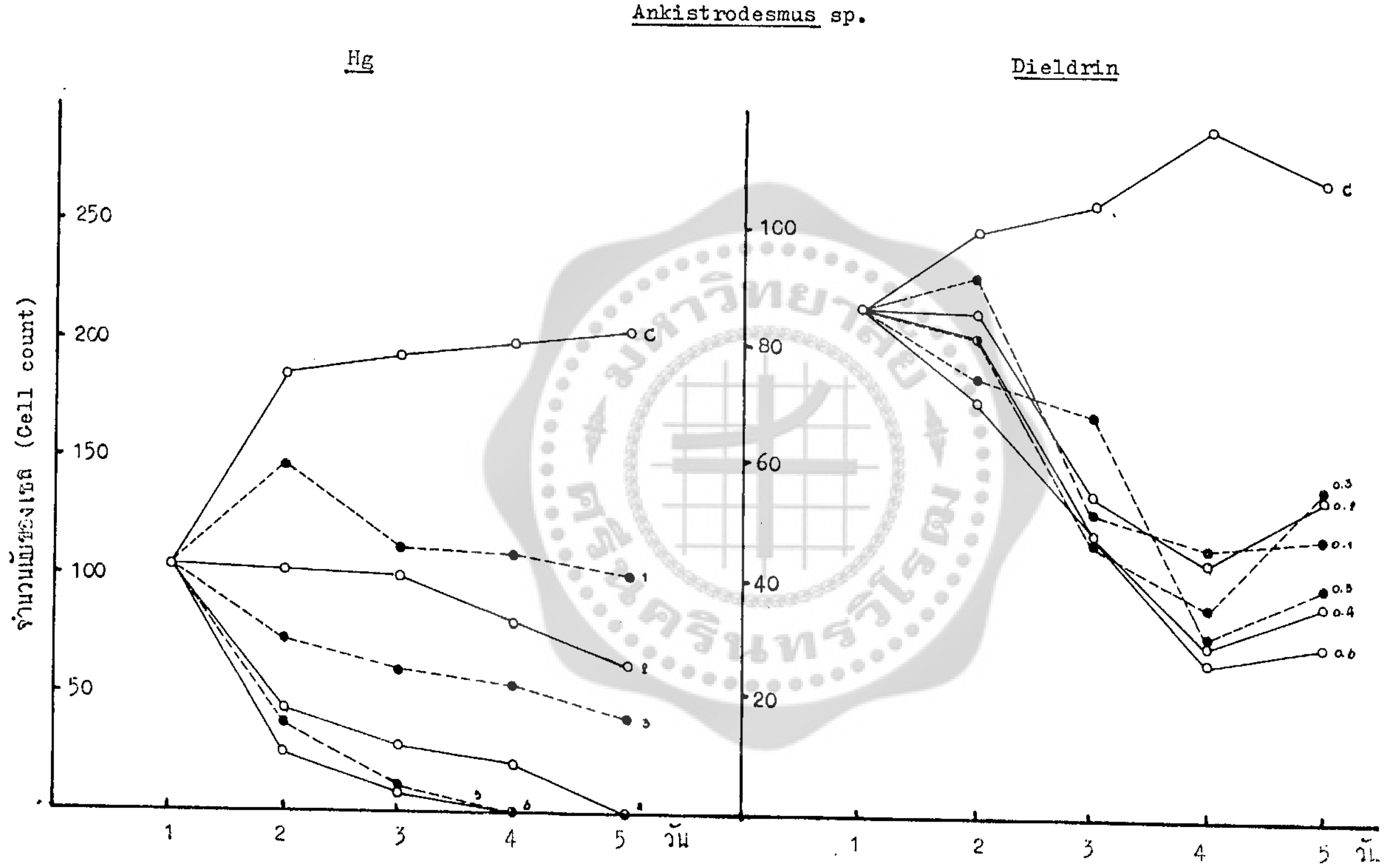
รูปที่ 3.32 แสดงผลของ Paraquat และ Abate ที่ระดับความเข้มข้น 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 ppm ต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย Ankistrodesmus sp.

ตารางที่33 แสดงการนับจำนวนเซลสาหร่ายชนิด Ankistrodesmus sp.

วันที่	จำนวนเซลของ control	ชนิดของสาร Hg as $HgCl_2$ ความเข้มข้น (ppm)						ชนิดของสาร Dieldrin ความเข้มข้น (ppm)					
		1	2	3	4	5	6	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
1	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37
2	101	146	102	73	43	40	25	92	36	32	32	75	71
3	105	118	100	60	28	10	8	52	55	47	48	69	48
4	118	110	81	54	20	-	-	46	44	36	30	31	27
5	109	101	64	40	-	-	-	48	55	56	37	40	30

* จำนวนเซล = จำนวนตัวเลขที่นับ x5 หมื่นเซล/ลบ.ซม.

หมายเหตุ สำหรับ Hg เซลขาวซีด ส่วน Dieldrin วันที่ 3 ของการทดลองมีเมือกสีขาวเกิดขึ้น.



รูปที่ 3.33 แสดงผลของ Hg ที่ระดับความเข้มข้น 1, 2, 3, 4, 5, 6 ppm และ Dieldrin ที่ระดับความเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6 ppm ต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย Ankistrodesmus sp.

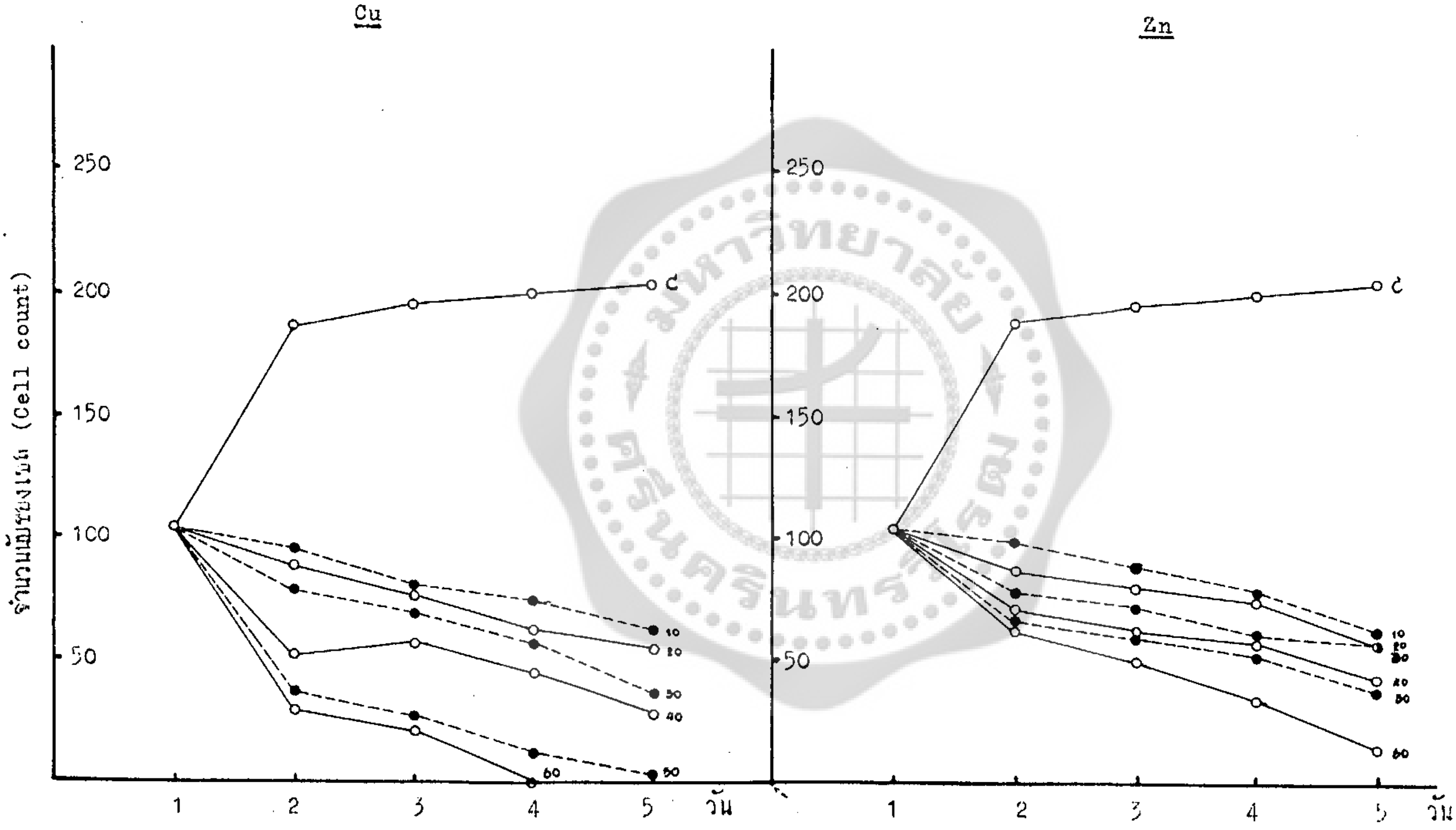
ตารางที่ 34 แสดงการนับจำนวนเซลสาหร่ายชนิด <u>Ankistrodesmus</u> sp.

วันที่	จำนวนเซลของ control	ชนิดของสาร Cu as $CuSO_4$ ความเข้มข้น (ppm)						ชนิดของสาร Zn as $ZnSO_4$ ความเข้มข้น (ppm)					
		10	20	30	40	50	60	10	20	30	40	50	60
1	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105
2	186	93	86	80	52	36	30	99	87	78	71	68	55
3	194	81	77	70	58	27	21	89	80	72	63	60	50
4	200	74	63	58	44	18	–	77	74	60	58	51	34
5	205	63	55	37	28	–	–	62	57	57	42	38	15

* จำนวนเซล = จำนวนตัวเลขที่นับ x5 หมื่นเซล/ลบ.ซม.

<u>หมายเหตุ</u> สำหรับ Cu 40,50,60 ppm เซลจับกลุ่มเป็นก้อนอยู่ที่ผิวน้ำ และตกตะกอนอย่างรวดเร็วภายหลังที่เติมสาร ส่วน 30 ppm นั้นจับกลุ่มตกตะกอนกันอยู่บ้าง.

Ankistrodesmus sp.



รูปที่3.34 แสดงผลของ Cu และ Zn ที่ระดับความเข้มข้น 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 ppm

ต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย Ankistrodesmus sp.

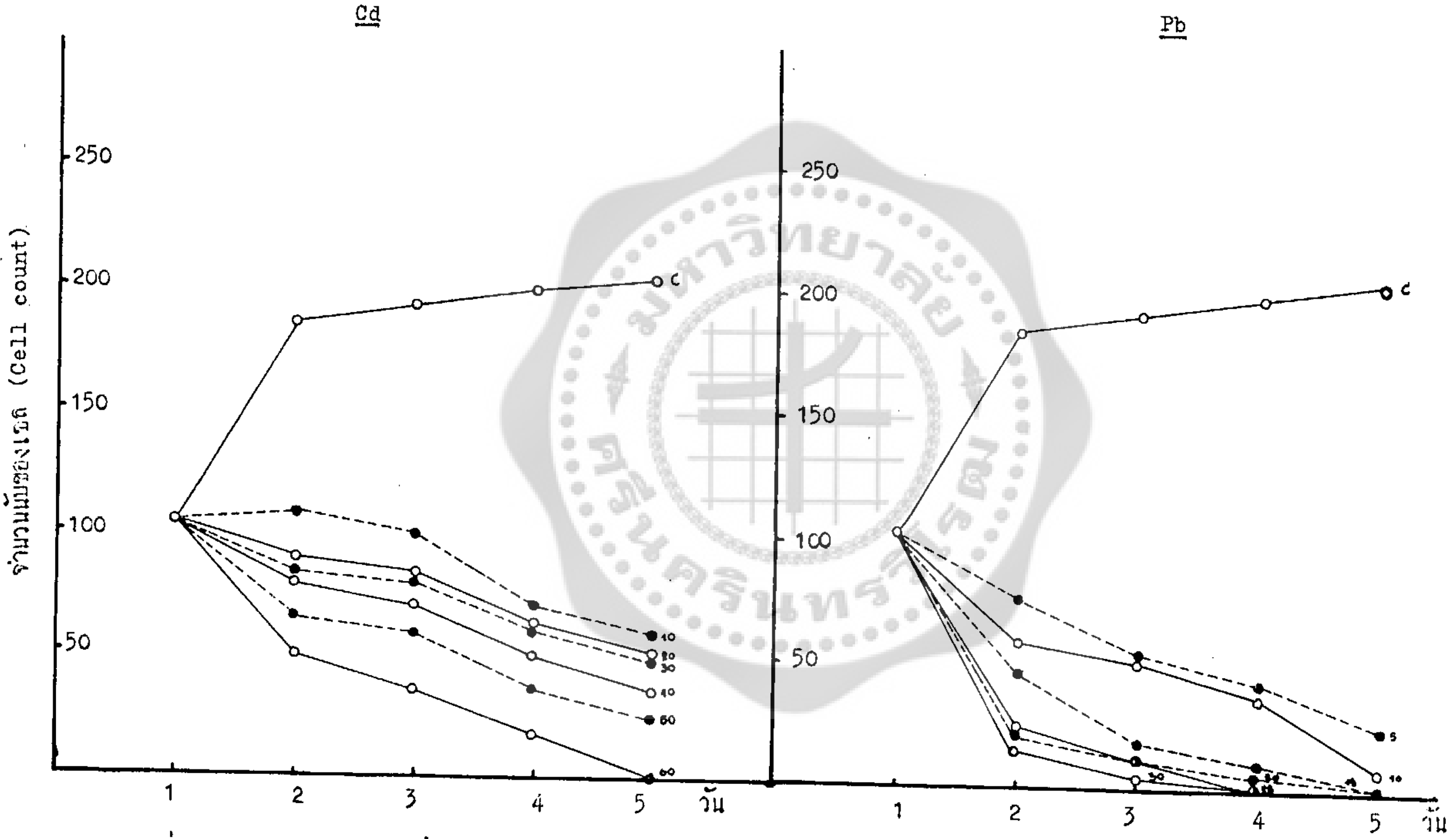
ตารางที่3.3แสดงการนับจำนวนเซลสาหร่ายชนิด *Ankistrodesmus* sp.

วันที่	จำนวนเซลของ control	ชนิดของสาร Cd as $CdCl_2$ ความเข้มข้น (ppm)						ชนิดของสาร Pb as $PbSo_4$ ความเข้มข้น (ppm)					
		10	20	30	40	50	60	5	10	15	20	25	30
1	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105
2	136	109	90	85	79	66	50	77	60	48	22	25	15
3	194	100	85	80	67	60	36	55	51	18	9	10	5
4	200	71	64	61	45	32	17	43	37	10	4	–	–
5	205	60	52	47	36	25	–	24	12	–	–	–	–

* จำนวนเซล = จำนวนตัวเลขที่นับ x5 หมื่นเซล/ลบ.ซม.

<u>หมายเหตุ</u> สำหรับ Cd เซลจะจับกลุ่มสีขาวซีด ส่วน Pb เซลตกตะกอนจับกันเป็นกลุ่ม.

Ankistrodesmus sp.

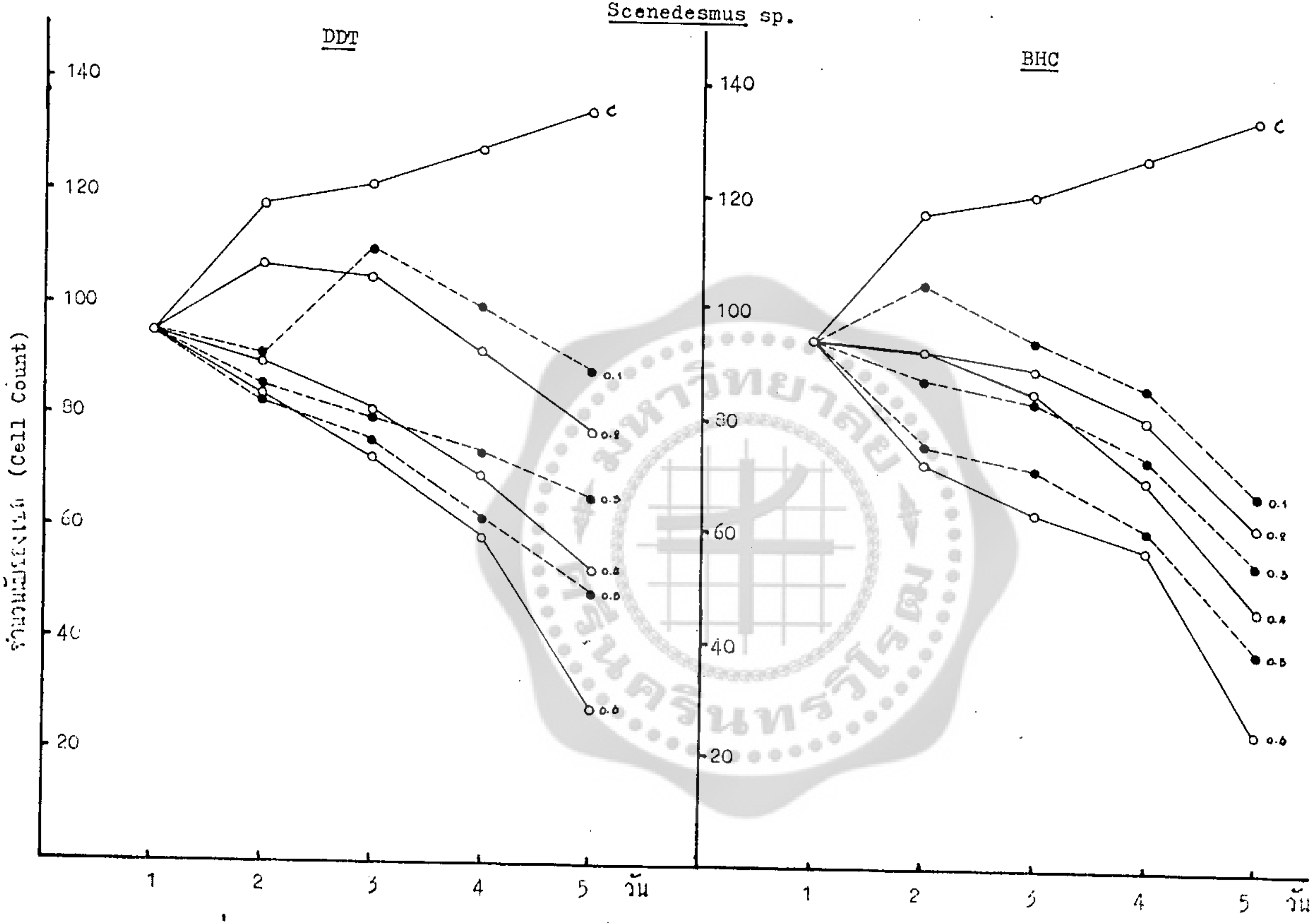


รูปที่ 3.35 แสดงผลของ Cd ที่ระดับความเข้มข้น 10, 20, 30, 40, 50, 60 ppm และ Pb ที่ระดับความเข้มข้น 5, 10, 15, 20, 25, 30 ppm ต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Ankistrodesmus* sp.

ตารางที่336 แสดงการนับจำนวนเซลสาหร่ายชนิด *Scenedesmus* sp.

วันที่	จำนวนเซลของ con-trol	ชนิดของสาร DDT ความเข้มข้น(ppm)						ชนิดของสาร BHC ความเข้มข้น (ppm)					
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
1	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95
2	118	91	107	86	90	83	84	105	93	88	93	76	73
3	121	110	105	80	81	76	73	95	90	84	86	72	64
4	128	100	92	74	70	62	59	87	81	74	70	61	58
5	135	89	78	66	53	49	28	68	62	55	47	39	25

* จำนวนเซล = จำนวนตัวเลขที่นับ x5 หมื่นเซล/ลบ.ซม.



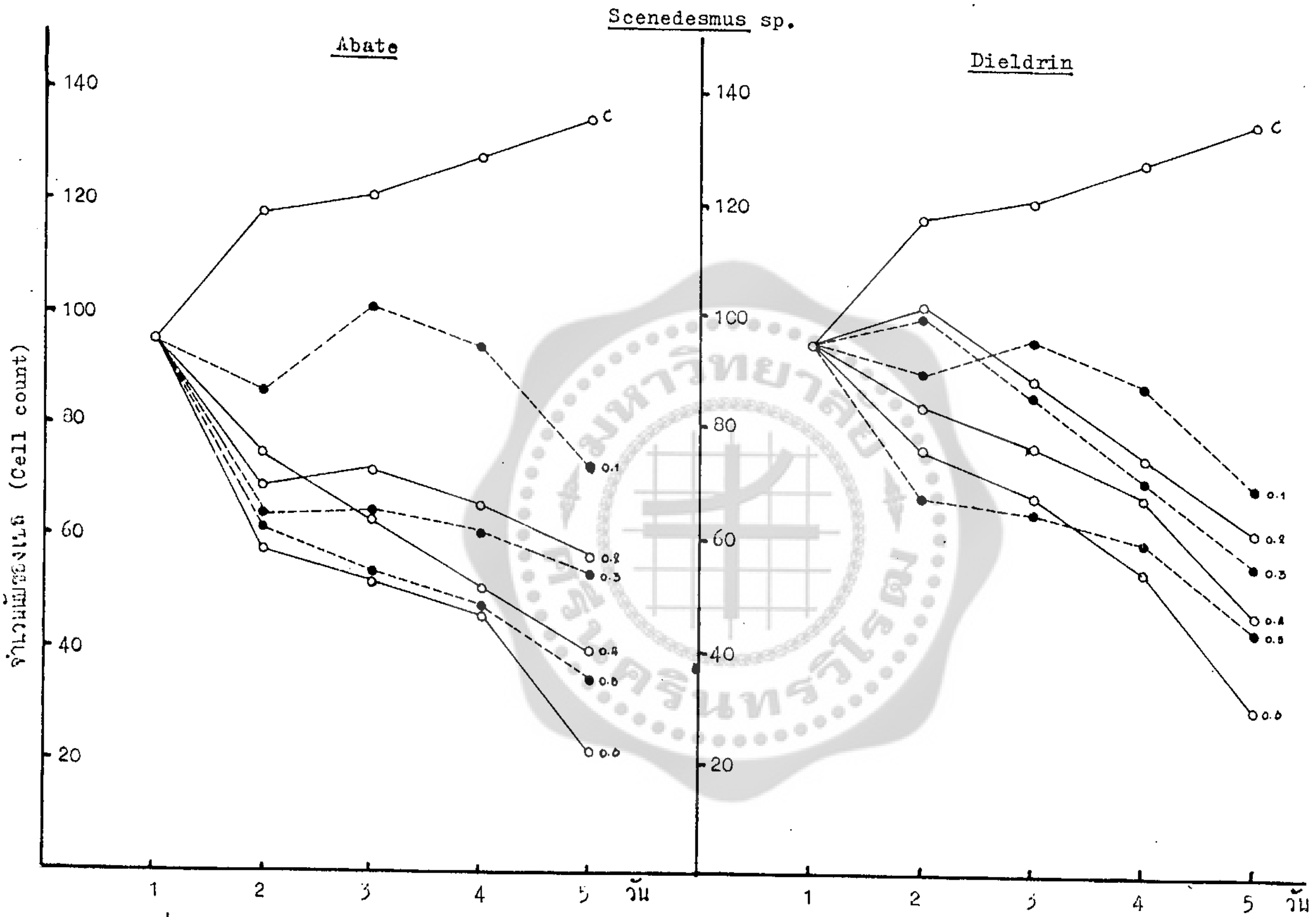
รูปที่ 3.36 แสดงผลของ DDT และ BHC ที่ระดับความเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 และ 0.6 ppm ต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Scenedesmus* sp.

ตารางที่3.37แสดงการนับจำนวนเซลสาหร่ายชนิด Scenedesmus sp.

วันที่	จำนวนเซลของ con-trol	ชนิดของสาร Abate ความเข้มข้น (ppm)						ชนิดของสาร Dieldrin ความเข้มข้น (ppm)					
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
1	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95
2	118	86	69	64	75	62	58	90	102	100	84	68	76
3	121	101	72	65	63	54	52	96	89	86	77	65	68
4	128	94	66	61	51	48	46	88	75	71	68	60	55
5	135	73	57	54	40	35	22	70	62	56	47	44	30

* จำนวนเซล = จำนวนตัวเลขที่นับ x5 หมื่นเซล/ลบ.ซม.

หมายเหตุ สำหรับ Dieldrin จะมีการตกตะกอนจับอยู่ที่ก้นขวด



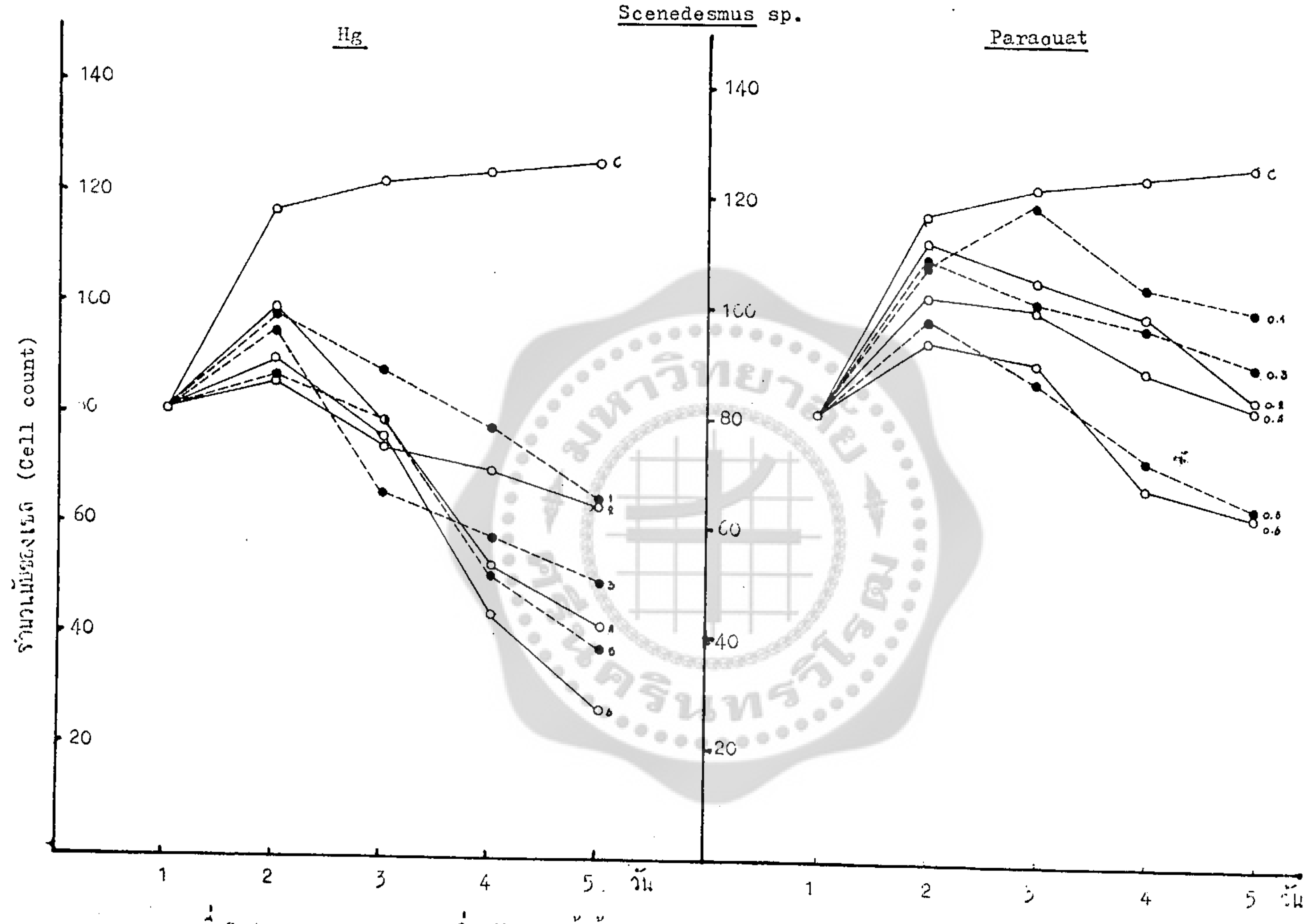
รูปที่ 3.37 แสดงผลของ Abate และ Dieldrin ที่ระดับความเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 และ 0.6 ppm ต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย Scenedesmus sp.

ตารางที่38แสดงการนับจำนวนเซลสาหร่ายชนิด Scenedesmus sp.

วันที่	จำนวนเซลของ control	ชนิดของสาร Hg as $HgCl_2$ ความเข้มข้น (ppm)						ชนิดของสาร Paraquat ความเข้มข้น (ppm)					
		1	2	3	4	5	6	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
1	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81
2	117	98	86	95	99	87	90	108	112	109	102	98	94
3	122	88	74	66	79	79	76	119	105	101	100	87	90
4	124	78	70	58	53	51	44	104	99	97	89	73	68
5	126	65	64	50	42	38	27	100	84	90	82	64	63

*จำนวนเซล = จำนวนตัวเลขที่นับ x 5 หมื่นเซล/ลบ.ซม.

หมายเหตุ สำหรับ Hg เซลจะขาวซีด.



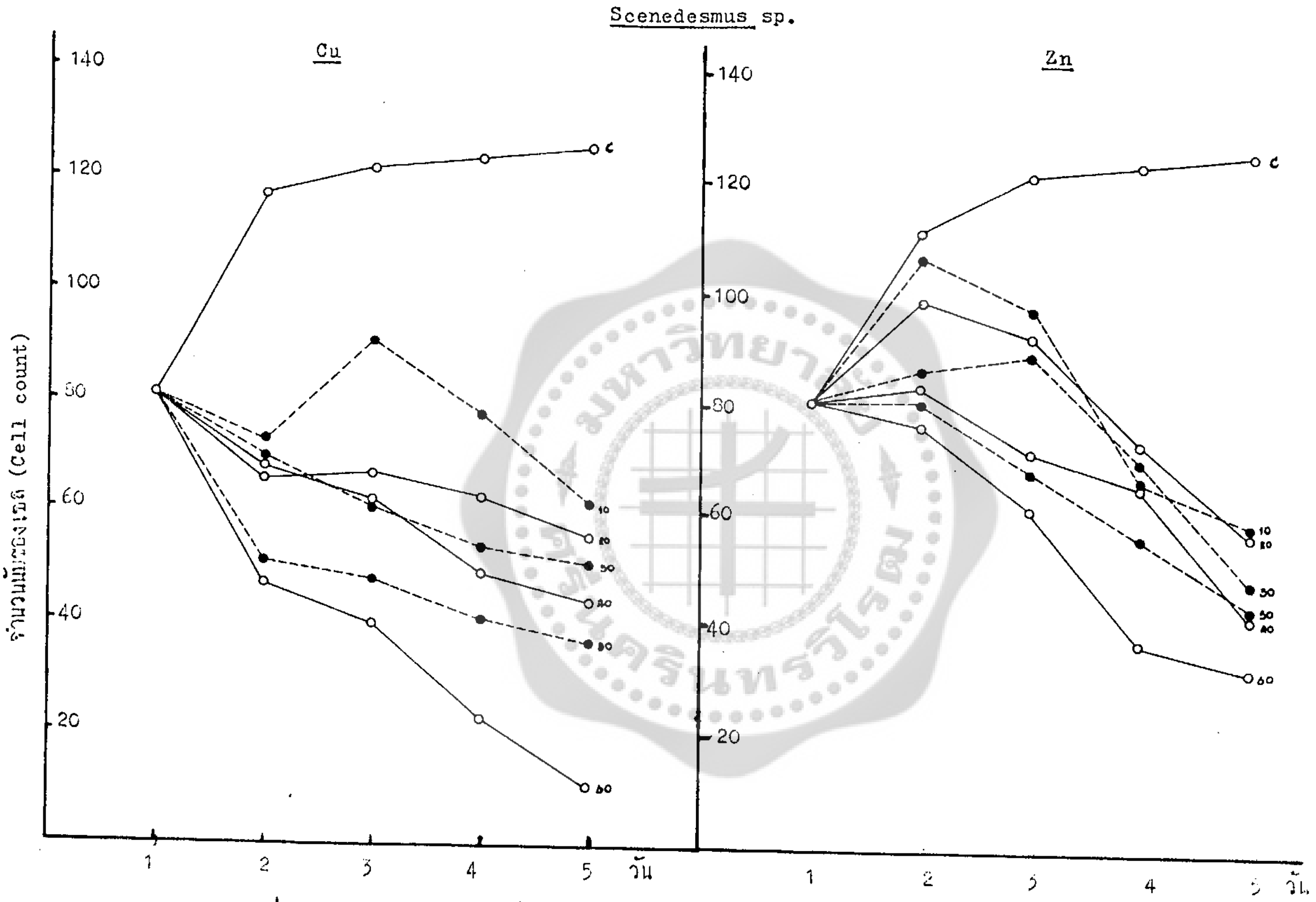
รูปที่ 3.3c แสดงผลของ Hg ที่ระดับความเข้มข้น 1, 2, 3, 4, 5, 6 ppm และ Paraquat ที่ระดับความเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6 ppm ต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย Scenedesmus sp.

ตารางที่3.39 แสดงการนับจำนวนเซลสาหร่ายชนิด <u>Scenedesmus</u> sp.

วันที่	จำนวนเซลของ control	ชนิดของสาร Cu as $CuSo_4$ ความเข้มข้น(ppm)						ชนิดของสาร Zn as $ZnSo_4$ ความเข้มข้น (ppm)					
		10	20	30	40	50	60	10	20	30	40	50	60
1	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81
2	117	73	66	70	68	51	47	107	99	87	84	81	77
3	122	91	67	61	63	48	40	98	93	90	72	69	62
4	124	78	63	54	49	41	23	67	74	71	66	57	38
5	126	62	56	51	44	37	11	59	58	49	43	44	33

*จำนวนเซล = จำนวนตัวเลขที่เห็น ×5 หมื่นเซล/ลบ.ซม.

<u>หมายเหตุ</u> สำหรับ Cu ที่ 40,50,60ppm เซลจับกลุ่มเป็นก้อนอยู่ที่ผิวน้ำ และตกตะกอนอย่างรวดเร็วหลังจากที่เติมสารลงไป ส่วน 30 ppm นั้นจับกลุ่มตกตะกอนบ้าง.

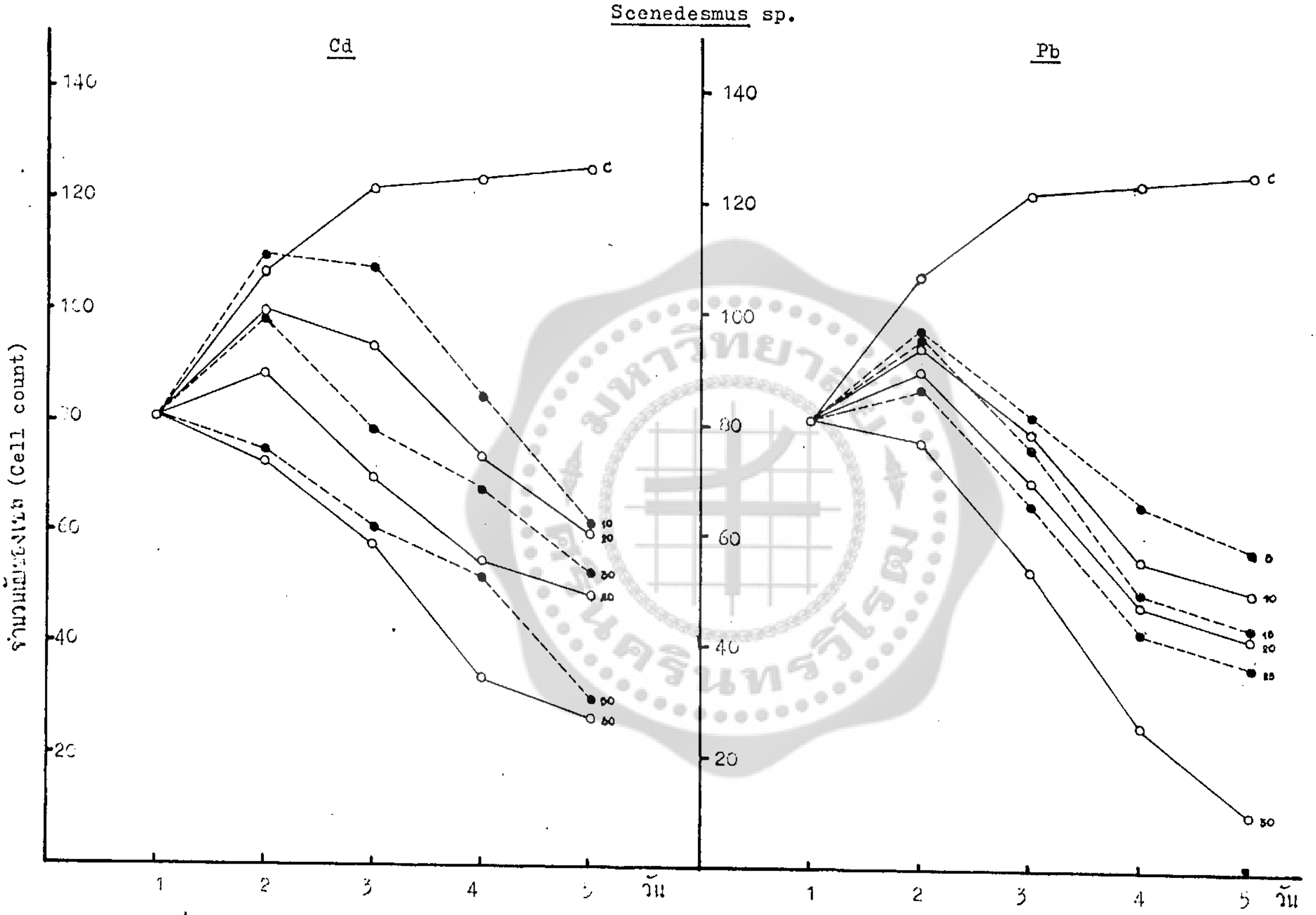


รูปที่ 3.39 แสดงผลของ Cu และ Zn ที่ระดับความเข้มข้น 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 ppm
ต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย Scenedesmus sp.

ตารางที่3.40แสดงการนับจำนวนเซลสาหร่ายชนิด *Scenedesmus* sp.

วันที่	จำนวนเซลของ control	ชนิดของสาร Cd as $CdCl_2$ ความเข้มข้น (ppm)						ชนิดของสาร Pb as $PbSo_4$ ความเข้มข้น (ppm)					
		10	20	30	40	50	60	5	10	15	20	25	30
1	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81
2	117	110	100	99	89	75	73	97	94	96	90	87	77
3	122	108	94	79	70	61	58	82	79	76	70	66	54
4	124	85	74	68	55	52	34	66	56	50	48	43	26
5	126	62	60	53	49	30	27	58	50	44	42	37	10

* จำนวนเซล = จำนวนตัวเลขที่นับ x 5 หมื่นเซล/ลบ.ซม.



รูปที่ 3.40 แสดงผลของ Cd ที่ระดับความเข้มข้น 10, 20, 30, 40, 50, 60 ppm และ Pb ที่ระดับความเข้มข้น 5, 10, 15, 20, 25, 30 ppm ต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Scenedesmus* sp.

บทที่ 4 สรุปและวิจารณ์

4.1 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลองวัดความร้ายแรงของสารอันตรายโดยใช้ปลาเป็นตัวประเมินผล

จากการทดลองวิจัยสามารถสรุปและวิจารณ์ผลการทดลองได้ดังนี้

4.1.1 สรุปผลการทดลองวัดค่า TLm สำหรับปลาหางนกยูง ได้ดังนี้ :-

สารทดลอง	ค่า TLm 24 ชม.	48 ชม.	72 ชม.	96 ชม.	
DDT	0.040	0.040	0.035	0.030	ppm
BHC	4.10	3.92	3.92	3.0	"
Paraquat	4.9	4.9	4.9	4.5	"
Abate	0.40	0.30	0.30	0.30	"
Dieldrin	0.040	0.035	0.033	0.032	"
Hg	0.2	0.2	0.2	0.18	"
Cu	0.54	0.23	0.09	0.07	"
Zn	7.0	7.0	5.29	4.36	"
Cd	7.49	6.10	3.71	2.62	"
Pb	1.5	1.5	1.5	1.4	"

(ดูตารางที่ 3.1 – 3.5 และรูปที่ 3.1 – 3.5 ประกอบ)

4.1.2 สรุปผลการทดลองวัดค่า TLm สำหรับปลาไน ได้ดังนี้:-

สารทดลอง	ค่า TLm 24 ชม.	48 ชม.	72 ชม.	96 ชม.	
DDT	0.70	0.79	0.64	0.62	ppm
BHC	5.0	4.54	4.27	4.27	"
Paraquat	15	15	14.2	14.2	"

สารทดลอง	ค่า TLm				
	24 ชม.	48 ชม.	72 ชม.	96 ชม.	
Abate	0.70	0.70	0.645	0.60	ppm
Dieldrin	0.090	0.087	0.084	0.080	"
Hg	0.50	0.50	0.38	0.30	"
Cu	1.0	0.5	0.49	0.49	"
Zn	7.0	6.5	6.20	6.5	"
Cd	5.0	2.25	–	1.0	"
Pb	1.28	1.28	1.26	1.25	"

(ดูตารางที่ 3.6 – 3.10 และรูปที่ 3.6 – 3.10 ประกอบ)

4.1.3 สรุปผลการทดลองวัดค่า TLm สำหรับปลานิล ได้ดังนี้:–

สารทดลอง	ค่า TLm				
	24 ชม.	48 ชม.	72 ชม.	96 ชม.	
DDT	0.062	0.060	0.057	0.056	ppm
BHC	4.27	4.12	4.05	4.05	"
Paraquat	10	10	10	9.2	"
Abate	0.67	0.67	0.66	0.60	"
Dieldrin	0.021	0.017	0.017	0.017	"
Hg	0.4	0.25	0.25	0.25	"
Cu	1.0	0.56	0.56	0.39	"
Zn	6.0	2.98	2.98	2.98	"
Cd	4.0	4.0	1.27	1.0	"
Pb	1.2	1.0	0.67	0.56	"

(ดูตารางที่ 3.11 – 3.15 และรูปที่ 3.11 – 3.15 ประกอบ)

4.1.4 สรุปผลการทดลองวัดค่า TLm สำหรับปลาตะเพียนขาว ได้ดังนี้:-

สารทดลอง	ค่า TLm				
	24 ชม.	48 ชม.	72 ชม.	96 ชม.	
DDT	0.14	0.11	0.11	0.08	ppm
BHC	2.25	1.80	1.80	1.43	"
Paraquat	3.0	2.1	1.6	1.2	"
Abate	0.154	0.130	0.120	0.10	"
Dieldrin	0.052	0.043	0.041	0.035	"
Hg	0.20	0.14	0.11	0.10	"
Cu	0.50	0.29	0.23	0.17	"
Zn	4.9	4.0	2.5	2.2	"
Cd	2.44	1.95	0.97	0.80	"
Pb	1.10	1.01	0.87	0.83	"

(ดูตารางที่ 3.16 – 3.29 และรูปที่ 3.16 – 3.29 ประกอบ)

4.1.5 สรุปผลการทดลองวัดค่า TLm สำหรับปลายี่สกเทศ ได้ดังนี้:-

สารทดลอง	ค่า TLm 24 ชม.	48 ชม.	72 ชม.	96 ชม.	
DDT	0.4	0.25	0.25	0.13	ppm
BHC	8	8	4.1	3.47	"
Paraquat	7.0	5.9	5.94	3.98	"
Abate	1.46	1.26	1.12	1.04	"
Dieldrin	0.040	0.034	0.025	0.023	"
Hg	0.58	0.43	0.23	0.17	"
Cu	0.50	0.37	0.26	0.21	"
Zn	5.0	5.0	3.04	1.98	"
Cd	3.5	2.8	2.3	1.4	"
Pb	1.29	1.29	1.12	0.97	"

(ดูตารางที่ 3.21 – 3.25 และรูปที่ 3.21 – 3.25 ประกอบ)

4.1.6 ในการทดลองกับปลาหางนกยูง พบว่าสารอันตรายจำพวกยาปราบศัตรูพืชที่มีผลร้ายแรงมากที่สุดคือ สารจำพวก DDT และ Dieldrin และที่มีผลน้อยคือสารพวก Paraquat ส่วนสารจำพวกโลหะหนักที่มีผลร้ายแรงมากที่สุดคือ สารปรอท และที่มีผลน้อยคือสารพวกสังกะสีและแคดเมี่ยม

4.1.7 ในการทดลองกับปลาใน พบว่าสารอันตรายจำพวกยาปราบศัตรูพืชที่มีผลร้ายแรงมากที่สุดคือสาร Dieldrin และที่มีผลน้อยคือสาร Paraquat ส่วนสารจำพวกโลหะหนักที่มีผลร้ายแรงมากที่สุดคือสารปรอท และที่มีผลน้อยคือสารพวกสังกะสี

4.1.8 ในการทดลองกับปลานิล พบว่าสารอันตรายจำพวกยาปราบศัตรูพืชที่มีผลร้ายแรงมากที่สุดคือสาร Dieldrin และที่มีผลน้อยคือสาร Paraquat ส่วนสารจำพวกโลหะหนักที่มีผลร้ายแรงมากที่สุดคือสารปรอท และที่มีผลน้อยคือสารพวกสังกะสี

4.1.9 ในการทดลองกับปลาตะเพียนขาว พบว่าสารอันตรายจำพวกยาปราบศัตรูพืชที่มีผลร้ายแรงมากที่สุด คือสาร Dieldrin และที่มีผลน้อยคือสาร Paraquat ส่วนสารจำพวกโลหะหนักที่มีผลร้ายแรงมากที่สุด คือสารปรอทและที่มีผลน้อย คือสารพวกสังกะสี

4.1.10 ในการทดลองกับปลายี่สกเทศ พบว่าสารอันตรายจำพวกยาปราบศัตรูพืชที่มีผลร้ายแรงมากที่สุดคือสาร Dieldrin และที่มีผลน้อยคือสาร Paraquat และ BHC ส่วนสารจำพวกโลหะหนักที่มีผลร้ายแรงมากที่สุดคือสารปรอทและทองแดง และที่มีผลน้อยคือสารพวกสังกะสี

4.1.11 สรุปโดยทั่วไปในการทดลองกับปลาทั้ง 5 ชนิด สารอันตรายจำพวกยาปราบศัตรูพืชที่มีผลร้ายแรงมากที่สุดคือสาร Dieldrin และ DDT ตามลำดับ และที่มีผลน้อยคือสาร Paraquat และ BHC ส่วนสารจำพวกโลหะหนักที่มีผลร้ายแรงมากที่สุดคือสารปรอทและทองแดง และที่มีผลน้อย คือสารพวกสังกะสี

4.1.12 ในการทดลองความร้ายแรงของสารอันตรายทั้ง 10 ชนิด กับปลา 5 ชนิด พบปลาที่มีความอ่อนไหว (sensitive) ต่อสารดังกล่าว ดังนี้:-

สารอันตราย	ปลาที่อ่อนไหวต่อสารมากที่สุด
DDT	ปลาหางนกยูง
BHC	ปลาตะเพียนขาว
Paraquat	"
Abate	"
Dieldrin	ปลานิล
Hg	ปลาตะเพียนขาว , ปลาหางนกยูง
Cu	ปลาตะเพียนขาว , ปลายี่สกเทศ
Zn	" "
Cd	ปลาตะเพียนขาว
Pb	ใกล้เคียงกันทั้ง 5 ชนิด

4.1.13 ในการทดลองวัดความร้ายแรงของสาร Paraquat ต่อปลา มีข้อที่น่าสังเกตุ คือ ถ้าอยู่ในระดับความเข้มข้นของสารที่จะทำอันตรายต่อปลาแล้วปลาจะตายในวันแรกของการทดลอง หลังจากนั้นปลาที่เหลือรอดจะค่อย ๆ ฟื้นคืนตัวกลับสภาพเดิม ทั้งนี้อาจเนื่องจากสาร Paraquat เป็นสารที่สลายตัวเร็วเมื่อเจอแสง และรวมตัวกับสารอินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำได้ดี จึงทำให้มีพิษตกค้างเหลือน้อย

4.1.14 ในการสังเกตุอาการของปลาที่ทดลองกับสารอันตรายพบว่าระยะแรกปลาจะมีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้น เมื่อสัมผัสกับสารพิษโดยสังเกตุจากการเปิดปิดของ Operculum ถี่ขึ้น หลังจากนั้นจะเสียการทรงตัว ว่ายน้ำสะเปะสะปะไม่มีทิศทาง จมลงสู่ก้นอ่าง อัตราการหายใจลดลง เกิดการยึดหดของกล้ามเนื้ออย่างรวดเร็วบางครั้งจะทะลึ่งพรวดสู่ผิวน้ำ แล้วจมลงอย่างเดิม และตายในที่สุด จากการตรวจสอบบริเวณเหงือก พบว่าส่วนใหญ่มักจะมีเมือกหนาหุ้มอยู่

4.2 <u>สรุปและวิจารณผลการทดลองวัดความร้ายแรงของสารอันตรายโดยใช้แพลงค์ตอนพืชเป็นตัวประเมินผล</u>

4.2.1 ในการทดลองสารอันตรายทั้ง 10 ชนิด กับสาหร่าย <u>chlorella</u> sp. สามารถสรุปผลการทดลองดังนี้:- (ดูตารางที่ 3.26 – 3.30 และรูปที่ 3.26 – 3.30 ประกอบ)

สาร DDT พบว่าที่ความเข้มข้นมากกว่า 0.2 ppm ปริมาณเซลจะลดลงอย่างรวดเร็ว ส่วนที่ 0.2 ppm ปริมาณเซลลดลงครึ่งหนึ่งประมาณในวันที่ 3

สาร BHC พบว่าที่ความเข้มข้น 0.1 – 0.5 ppm เซลยังสามารถเจริญเติบโตได้และเริ่มลดลงอย่างรวดเร็วที่ 0.6 ppm

สาร Paraquat พบว่าที่ความเข้มข้น 0.1 ppm ปริมาณเซลจะลดลงครึ่งหนึ่งประมาณในวันที่ 4 ที่ความเข้มข้นมากกว่า 0.2 ppm ปริมาณเซลจะลดลงอย่างรวดเร็ว

สาร Abate พบว่าที่ความเข้มข้น 0.1 ppm ปริมาณเซลลดลงครึ่งหนึ่งประมาณในวันที่ 4 ที่ความเข้มข้นมากกว่า 0.1 ppm เซลไม่สามารถเจริญเติบโตได้

สาร Dieldrin พบว่าที่ความเข้มข้น 0.1 , 0.2 และ 0.3 ppm ปริมาณเซลจะลดลงครึ่งหนึ่งประมาณในวันที่ 2 ที่ความเข้มข้นมากกว่า 0.4 ppm เซลไม่สามารถเจริญเติบโตได้ ปริมาณเซลจะลดลงอย่างรวดเร็ว

สาร Hg พบว่าที่ความเข้มข้น 1 ppm ปริมาณเซลจะลดลงครึ่งหนึ่งประมาณในวันที่ 2 ที่ความเข้มข้นมากกว่า 3 ppm เซลไม่สามารถเจริญเติบโตได้ ปริมาณเซลจะลดลงอย่างรวดเร็ว

สาร Cu พบว่าที่ 10 ppm ปริมาณเซลจะลดลงครึ่งหนึ่งประมาณในวันที่ 5 ที่ความเข้มข้นมากกว่า 40 ppm เซลไม่สามารถเจริญเติบโตได้ เซลจับกันเป็นกลุ่มก้อน และตกตะกอนทันทีที่เติมสาร

สาร Zn พบว่าสังกะสีมีผลต่อการเจริญเติบโตของ <u>chlorella</u> sp น้อย แม้เพิ่มความเข้มข้นถึง 60 ppm ปริมาณเซลลดลงครึ่งหนึ่งประมาณในวันที่ 4

สาร Cd พบว่าที่ 10 ppm ปริมาณเซลจะลดลงครึ่งหนึ่งในวันที่ 2 ขนาดเซลจะเล็กลงและมีสีซีดจาง ที่ความเข้มข้นมากกว่า 10 ppm เซลไม่สามารถเจริญเติบโต

สาร Pb พบว่าที่ 10 ppm เซลไม่สามารถเจริญเติบโตได้ ปริมาณเซลลดลงอย่างรวดเร็ว และจับกันเป็นกลุ่มก้อน ตกตะกอนในที่สุด

4.2.2 สารอันตรายที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของ <u>chlorella</u> sp ส่วนใหญ่จะเป็นพวกยาปราบศัตรูพืช เช่น Paraquat , Abate และ Dieldrin มากกว่าพวกโลหะหนัก

4.2.3 ในการทดลองสารอันตรายทั้ง 10 ชนิด กับสาหร่าย Ankistrodesmus sp. สามารถสรุปผลการทดลองดังนี้:- (ดูตารางที่ 3.31 – 3.35 และรูปที่ 3.31 – 3.35 ประกอบ)

สาร DDT พบว่าปริมาณเซลจะลดลงอย่างรวดเร็วที่ความเข้มข้น 0.1 – 0.6 ppm และปริมาณเซลลดลงครึ่งหนึ่งประมาณในวันที่ 4 แต่ในช่วงวันที่ 5 เซลกลับเจริญเติบโตขึ้นอีกเล็กน้อย

สาร BHC พบว่าปริมาณเซลลดลงที่ความเข้มข้น 0.1 – 0.6 ppm และลดลงครึ่งหนึ่งประมาณในวันที่ 4 และ 5

สาร Paraquat พบว่าที่ความเข้มข้น 2 – 6 ppm การเจริญเติบโตจะมีลักษณะคล้ายคลึงกันคือปริมาณเซลลดลงครึ่งหนึ่งประมาณในวันที่ 5 ส่วนที่ 1 ppm เซลยังสามารถเจริญเติบโตได้พอสมควร

สาร Abate พบว่าที่ความเข้มข้น 1 – 2 ppm เซลยังเจริญเติบโตได้พอสมควร ส่วนที่ความเข้มข้นมากกว่า 3 ppm ขึ้นไปปริมาณเซลเริ่มลดลงอย่างรวดเร็ว

สาร Dieldrin พบว่าที่ความเข้มข้น 0.1 – 0.6 ppm เซลไม่สามารถเจริญเติบโต ปริมาณเซลลดลงอย่างรวดเร็ว และลดลงครึ่งหนึ่งประมาณในวันที่ 5

สาร Hg พบว่าที่ความเข้มข้น 1 , 2 , และ 3 ppm เซลยังสามารถเจริญเติบโตได้เล็กน้อย แต่ที่ความเข้มข้นมากกว่า 4 ppm ขึ้นไป ปริมาณเซลจะลงลงอย่างรวดเร็ว เซลจะมีลักษณะขาวซีด

สาร Cu พบว่าที่ 10 ppm ปริมาณเซลลดลงครึ่งหนึ่งในวันที่ 5 และที่ความเข้มข้นมากว่า 40 ppm ขึ้นไป ปริมาณเซลจะลดลงอย่างรวดเร็ว เซลจะจับกันเป็นกลุ่มก้อนและตกตะกอนในที่สุด

สาร Zn พบว่าที่ 10 – 60 ppm มีลักษณะการเจริญเติบโตคล้ายคลึงกันคือปริมาณเซลจะลดลง ที่ 10 – 40 ppm ปริมาณเซลจะลดลงครึ่งหนึ่งประมาณวันที่ 5 และที่ 50 – 60 ppm จะลดลงครึ่งหนึ่งประมาณวันที่ 4 และ 3 ตามลำดับ

สาร Cd พบว่าสารแคดเมี่ยมลดการเจริญเติบโตของเซลคล้ายสังกะสี ที่ 10 – 30 ppm ปริมาณเซลลดลงครึ่งหนึ่งประมาณวันที่ 5 และที่ 40 , 50 และ 60 ppm ปริมาณเซลลดลงครึ่งหนึ่งประมาณในวันที่ 4 , 3 และ 2 ตามลำดับ

สาร Pb พบว่าที่ 5 และ 10 ppm ปริมาณเซลลดลงครึ่งหนึ่งประมาณในวันที่ 3 ที่ความเข้มข้นมากกว่า 15 ppm ขึ้นไป การเจริญเติบโตลดลงอย่างรวดเร็ว เซลจับกันเป็นก้อนและตกตะกอนในที่สุด

4.2.4 สารอันตรายที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของ <u>Ankistrodesmus</u> sp. ส่วนใหญ่จะเป็นพวกยาปราบศัตรูพืช เช่น Dieldrin , DDT และ BHC มากกว่าพวกโลหะหนัก

4.2.5 ในการทดลองสารอันตรายทั้ง 10 ชนิดกับสาหร่าย <u>Scenedesmus</u> sp. สามารถสรุปผลการทดลองดังนี้:– (ดูตารางที่ 3.36 – 3.40 และรูปที่ 3.36 – 3.40 ประกอบ)

สาร DDT พบว่าที่ 0.1 , 0.2 ppm เซลเจริญเติบโตได้เล็กน้อย ส่วนที่ 0.3 – 0.5 ppm ปริมาณเซลลดลง และที่ 0.6 ppm ปริมาณเซลลดลงมากในวันที่ 5

สาร BHC มีลักษณะการเจริญเติบโตคล้ายคลึงกับ DDT ที่ 0.1 – 0.6 ppm โดยปริมาณเซลจะลดลงตามลำดับของความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น และลดลงครึ่งหนึ่งประมาณในวันที่ 4 และ 5

สาร Paraquat ปริมาณเซลค่อนข้างคงที่และเจริญเติบโตได้พอสมควรในวันที่ 1 – 5 ที่ความเข้มข้น 0.1 – 0.6 ppm

สาร Abate พบว่าที่ 0.1 ppm เซลเจริญเติบโตได้เล็กน้อยที่ 0.2 – 0.6 ppm ปริมาณเซลลดลงครึ่งหนึ่งประมาณในวันที่ 5

สาร Dieldrin พบว่าที่ 0.1 ppm เซลเจริญเติบโตได้เล็กน้อยที่ 0.2 – 0.6 ppm ปริมาณเซลลดลงครึ่งหนึ่งประมาณในวันที่ 5

สาร Hg พบว่า 1 – 2 ppm ปริมาณเซลค่อนข้างคงที่ ส่วนที่ 3 – 6 ppm ปริมาณเซลเริ่มลดลงและลดลงครึ่งหนึ่งประมาณในวันที่ 5

สาร Cu พบว่าที่ 10 – 50 ppm เซลเจริญเติบโตได้เล็กน้อย แต่ที่ 60 ppm ปริมาณเซลลดลงอย่างรวดเร็วในวันที่ 4 และ 5

สาร Zn พบว่าที่ 10 – 60 ppm ลักษณะการเจริญเติบโตของเซลมีแบบคล้ายคลึงกัน โดยในวันที่ 2 และ 3 ปริมาณเซลค่อนข้างคงที่และลดลงในวันที่ 4 และ 5 ปริมาณเซลลดลงครึ่งหนึ่งประมาณในวันที่ 5

สาร Cd พบว่าที่ 10 – 40 ppm เซลสามารถเจริญเติบโตได้เล็กน้อย แต่ที่ความเข้มข้นมากกว่า 40 ppm ขึ้นไป ปริมาณเซลจะลดลงอย่างรวดเร็วในวันที่ 3 – 5 และลดลงครึ่งหนึ่งประมาณในวันที่ 4 และ 5

สาร Pb พบว่าที่ 5 – 25 ppm มีลักษณะการเจริญเติบโตคล้ายคลึงกัน กล่าวคือ ปริมาณเซลจะลดลงครึ่งหนึ่ง ประมาณในวันที่ 4 และ 5 ที่ความเข้มข้นมากกว่า 25 ppm ปริมาณเซลจะเริ่มลดลงอย่างรวดเร็ว

4.2.6 สารอันตรายที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของ <u>Scenedesmus</u> sp. ส่วนใหญ่จะเป็นพวกยาปราบศัตรูพืช เช่น BHC , Dieldrin , DDT และ Abate มากกว่าพวกโลหะหนัก

4.2.7 ในการเปรียบเทียบความร้ายแรงของสารอันตรายที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย พบว่า สาหร่ายชนิด <u>Chlorella</u> sp จะมีความทนทานต่อสารอันตรายน้อยกว่า <u>Ankistrodesmus</u> sp และ <u>Scenedesmus</u> sp. ตามลำดับทั้งนี้อาจเนื่องจาก <u>Chlorella</u> sp. เป็นสาหร่ายเซลเดียวที่มีขนาดเล็กกว่า <u>Ankistrodesmus</u> sp. และ <u>Scenedesmus</u> sp. ซึ่งอยู่กันเป็นกลุ่ม (colony).

เอกสารอ้างอิง

1) Affleck, R.J. Zinc poisoning in a trout hatchery Aust. J. Mar. Fresh w. Res., 3 (1952) 142 - 69.

2) Berg,I., and Granmo, A., "Method for detection, measurement and monitoring of Pollutants in the Aquatic Environment. "FIR/TPLR/73/M6, 9PP. (1973).

3) Boetius, J. Lethal action of mercuric chloride and phenylmercuric acetate on fishes. Medd. Danm. Fiskeri - og Havunders , n.s., 3 (1960-61) 93-115.

4) Brown, V.M., "The Calculation of the acute toxicity of mixtures of poisons to rainbow trout. "Wat. Res., 2, 723 - 733 (1968).

5) Burdick, G.E. " A graphical method of deriving threshold values of toxicity and the equation of the toxicity curve. " N.Y. Fish and Game J., 4, 102 - 8 (1957).

6) Carpenter, K.E. The Lethal action of soluble metallic salts on fishes. Brit.J.exp. Biol., 4 (1927) 378 - 90.

7) Carpenter, K.E. On the biological factors involved in the destruction of river - fisheries by pollution due to lead - mining. Ann. appl.Biol., 12 (1925) 1-13.

8) Cairns, J. and R.E. Sparks. The Use of blue - gill breathing to detect Zinc. Water. Pollution.Abs Vol 45, 4 (1972) 1081.

9) Clemens, H.P. and Sneed, K.E. Lethal doses of several commercial chemicals for fingerling channel catfish. Fish. Bull U.S., No 316, Washington 1959.

10) Doudoroff, R. and Katz, M. Critical review of literature on the toxicity of industrial wastes and their components to fish. II. The metals as salts. Sewage industr. wastes, 25 (1953) 802 - 39.

11) Ellis, M.M. Detection and measurement of stream pollution. Bull.U.S.Bur. Fish., 48 (1937) 365 - 437.

12) Gagnon, A. La toxicitée du DDT pour le saumon de l ' Atlantique (Salmo salar Linné) et les alevins de truite (Salvelinus fontinalis Mitchell). Canad.J.Zool., 36 (1958) 479 - 87.

13) Hatch, R.W. Relative sensitivity of salmonids to DDT. Progr. Fish Cult., 19 (1957) 89 - 91.

14) Henderson, C., Pickering, Q.H. and Tarzwell, C.M. Relative toxicity of ten chlorinated hydrocarbon insecticides to four species of fish. Trans, Amer. Fish. Soc, 88 (1959) 23 - 32.

15) Henderson, C., Pickering, Q.H. and Tarzwell, C.M. The toxicity of organic phosphorous and Chlorinated hydrocarbon insecticides to fish In Biological Problems in Water Pollution, Trans. 1959 Seminar Report A. Taft Sanit. Eng. Cent. Tech. Rep. W 60 - 3 Cincinnati, 1960.

16) Jones, J.R.E. "Fish and River Pollution." Butterworth & Co.Ltd., London, 203 pp. (1969).

17) Jones, J.R.E. The relation between the electrolytic solution pressures of the metals and their toxicity to the stickleback (Gasterosteus aculeatus L.,J.exp. Biol., 16(1939) 425-37.

18) Jones, J.R.E. The relative toxicity of salts of Lead, Zinc and copper to the sticklebaek (Gasterostens aculeatus L.) and the effeet of Cadmium on the toxicity of Lead and zinc salts. J. exp. Biol., 15 (1938) 394 - 407 .

19) Jones, J.R.E. The Oxygen Cousumption of Gasterosteus aculeatus L in toxic solutions J.exp.Biol., 23 (1947) 298 - 311.

20) Jones, J.R.E. "Fish and River Pollution" III Butterworths & Co.Ltd., London, 199 pp (1964).

21) Klein,L. et al., "River Pollution II". Causes and Effects. Butterworths & Co,Ltd. London (1962) 443 pp.

22) Kuriya, J. H. Haga., Y. Haga., and K.Kimura. Studies on the Post Mortem Identification of the pollutant in fish killed by water Pollution X. On acute poisoning with Lead. Bull. Jap. Soc. Science. Fish. 35, (12) (1969) 1167-1171.

23) Langford, R.R. The effect of DDT on fresh water fishs. In Forest Spraying and Some effects of DDT, Dept. Lands Forests Ontario Canads, Div. Res. Biol. Bull., 2(1949) 19 - 37.

24) Lawrence, J.M. Toxicity of some new insecticides to several pondfish. Progr. Fish Cult., 12 (1950) 141-6

25) Lewis, S.D. and W.M.Lewis, The Effect of Zinc and Copper on the Osmoregulality of blood serum of the channel catfish Ictalurus puctatus Rafinesque and golden shiner, Notemigonus črysoleucas Mitchill. Water Pollution Abs. Vol 45, (1971)1:247..

26) Liepolt, R. and Weber, E. Die Giftwirkung von Kupfer - sulfat auf Wasserorganismen. Wass. U. Abwass. (1958) 335 - 53.

27) Lloyd, R. The toxicity of zinc sulphate to rainbow trout. Ann. appl. Biol., (1960) 84 - 94.

28) Mayhew, J. Toxicity of seven different insecticides to rainbow trout, Salmo gairdnerii Richardson. Proc. Iowa Acad. Sci., 62 (1955) 599-606.

29) Pielou, D.P. Lethal effects of DDT on young fish. Nature, Lond., 158 (1946) 378.

30) Powers, E.B. The goldfish (Carassius carassius) as a test animal in the study of toxicity. Illinois biol. Monogr., 4 (1917) 127-93.

31) Schweiger, G. Die toxicologische Einwirkung von Schwermetallsalzen auf Fische und Fishnahrtiere Arch. Fischereiwissenschaft, 8 (1957), 54 - 78.

32) Semylin, A.F. Effeet of Copper Naphthenate on the early stages of Salman Growth. Chem.Abs. 68, (1968) 85303.

33) Sprague, J.B.; "Measurement of Pollutant Toxicity to fish. III. Sublethal Effeets and Safe Concentrations. "Water Research 5., 245-266 (1971).

34) Sprague, J.B., "Measurement of Pollutant Toxicity to fish. I. Bioassay Methods for acute toxicity." Water Research 3, 793-821 (1969).

35) State of Washington 64th Ann. Rep.Fish., 1944.

36) Swedmark, M., Granmo, A., and Kolberg, S., "Methods for detection, measurement and monitoring of Pollutants in the Aquatic Environment. "FIR / TPLR / 73 / 21, 14 pp. (1973).

37) Tarzwell, C.M. and Henderson, C. Toxicity of less common metals to fishes. Industr. Wastes, 5 (1960) 12.

38) Water Pollution Research, 1959. 1960. London; H.M.S.O.