บทที่ 5
อภิปรายและสรุปผลการทดลอง

อภิปรายผลการทดลอง

จากการศึกษาพิษเฉียบพลันของทองแดงต่อลูกปลากะพงขาว ความเค็ม 5 ส่วนในพันส่วน ได้ค่าความเข้มข้นของทองแดงที่ทำให้ลูกปลากะพงขาวตาย 50 เปอร์เซ็นต์ ภายใน 96 ชั่วโมง (96-h LC_{50}) เท่ากับ 2.7±0.47 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Sulaiman (1996) ที่ทดลองกับลูกปลากะพงขาว น้ำหนัก 0.29 กรัม ความเค็ม 30 ส่วนในพันส่วน ได้ค่า 96-h LC_{50} ของทองแดง เท่ากับ3.2 มิลลิกรัมต่อลิตร และ Reardon and Harrell (1990) ทำการทดลองกับปลาวัยรุ่น Striped Bass (*Moron saxatilis*) ที่ความเค็ม 5 ส่วนในพันส่วน ได้ค่า 96-h LC_{50} ของทองแดง เท่ากับ 2.68 มิลลิกรัมต่อลิตร นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับการทดลองของ Juario and Silapan (1996) ที่ทำการทดลองกับกุ้งกุลาดำ (*P.monodon*) ระยะโพสลาวา 27 ความเค็ม 30 ส่วนในพันส่วน ได้ค่า 96-h LC_{50} ของทองแดง เท่ากับ 2.90 มิลลิกรัมต่อลิตร และ Chen and Lin (2001) ทดลองกับกุ้งกุลาดำวัยอ่อน น้ำหนัก 0.63 กรัม ความเค็ม 15 ส่วนในพันส่วน ได้ค่า 96-h LC_{50} ของทองแดง เท่ากับ 3.13 มิลลิกรัมต่อลิตร แสดงให้เห็นว่า ลูกปลากะพงขาว, ปลา Striped Bass และกุ้งกุลาดำมีระดับความทนทานต่อพิษของทองแดงที่ใกล้เคียงกันซึ่งแตกต่างจากการทดลองของ Jaritkhuan and Sawangwong (1996) ที่ทำการทดลองกับลูกปลากะพงขาว อายุ 15 ถึง 20 วัน และลูกกุ้งกุลาดำ อายุ 20 ถึง 26 วัน ความเค็ม 30 ส่วนในพันส่วน ได้ค่า 96-h LC_{50} ของทองแดง เท่ากับ >1.46 ถึง >1.82 และ 0.58 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และ Karan et al. (1996) ทดลองกับปลาคาร์ป อายุ 30 วัน ได้ค่า 96-h LC_{50} ของทองแดง เท่ากับ 0.64 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งระดับความเข้มข้นที่ได้มีความแตกต่างกันเนื่องจากปัจจัยทางสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันในแต่ละการทดลอง Beaumont et al. (2000) พบว่าความเป็นกรด-เบสต่ำ (pH 5) ทำให้ปลาเทร้าต์ มีอัตราการว่ายน้ำน้อยกว่าปลาที่เลี้ยงในน้ำที่มีความเป็นกรด-เบสปกติ เนื่องการขนส่งออกซิเจนผิดปกติเพราะเหงือกถูกทำลาย

จากผลการทดลองพิษเฉียบพลันของทองแดงต่อลูกปลากะพงขาว พบว่า ที่ความเข้มข้นในช่วงระหว่าง 1 ถึง 2 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 6) เกิดการตกตะกอน ภายใน 48 ชั่วโมง และลูกปลากะพงมีอัตราการตายสะสมน้อย อาจเนื่องจากลูกปลากะพงขาวมีการปรับตัว เนื่องจากปริมาณทองแดงในน้ำลดลงเนื่องจากการตกตะกอน จึงทำให้อัตราการตายสะสมน้อยกว่าความเข้มข้นที่ต่ำกว่าแต่ไม่ตกตะกอน นันทิยา แป้นถึง (2545) ศึกษากับลูกปลาตะเพียนขาว ขนาด 2-2.5 เซนติเมตร พบว่า เมื่อให้ปลาปรับตัวด้วยแคดเมียมต่ำๆ แล้วนำไปทดลองด้วย Lethal Dose

(4.5 มิลลิกรัมต่อลิตร) ลูกปลาจะมีการปรับตัวโดยมีอัตราการตายน้อยลง ส่วน Jones (1969) ได้อธิบายว่าเมื่อสัตว์เสียสมดุลย์หรือเสียการทรงตัวเนื่องจากสารพิษ ถ้านำไปไว้ในน้ำสะอาด มันจะสามารถฟื้นตัวได้

จากการศึกษาพิษเฉียบพลันของแคดเมียมต่อลูกปลากะพงขาว ได้ค่า 96-h LC_{50} ของแคดเมียม เท่ากับ 0.39±0.22 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งแตกต่างกับการทดลองของ Jaritkhuan and Sawangwong (1996) ที่ทำการทดลองกับลูกปลากะพงขาวและลูกกุ้งกุลาดำ ได้ค่า 96-h LC_{50} ของแคดเมียม เท่ากับ 18.82 และ 1.05 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และ Thophon et al. (2003) ทำการทดลองกับลูกปลากะพงขาว อายุ 3 เดือน ความเค็ม 30 ส่วนในพันส่วน ได้ค่า 96-h LC_{50} ของแคดเมียม เท่ากับ 20.12 มิลลิกรัมต่อลิตร เนื่องจากปัจจัยทางสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันในแต่ละการทดลอง ประกอบ ศรีจันทร์ (2529) พบว่าความเป็นพิษของแคดเมียมที่มีต่อปลากะพงขาวที่เลี้ยงในน้ำจืด มีความรุนแรงเป็น 3 เท่า ที่เลี้ยงในน้ำกร่อย และ 8 เท่า ที่เลี้ยงในน้ำเค็ม ส่วนพิษของแคดเมียมที่มีต่อปลาที่ทดลองเลี้ยงในน้ำกร่อยจะมีความรุนแรงเป็น 3 เท่า ที่เลี้ยงในน้ำเค็ม นอกจากนี้ รัตนวรรณ มั่งคั่ง (2541) พบว่าความกระด้างของน้ำที่เพิ่มขึ้นทำให้ความเป็นพิษของแคดเมียมต่อปลาตะเพียนขาววัยอ่อนลดลง

จากการศึกษาปริมาณทองแดงและแคดเมียมในน้ำทะเลบริเวณชายฝั่งทะเลตะวันออกและอ่าวไทยตอนบน พบว่ายังอยู่ในระดับที่ต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ คือ 0.02 และ 0.001 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (กรมควบคุมมลพิษ, 2545) และ Svobodova et al. (1993) อ้างว่าค่าความเข้มข้นของทองแดงสูงสุดที่มีในน้ำที่ไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำมีค่าอยู่ในช่วง 0.001 ถึง 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร ทั้งนี้ขึ้นกับคุณสมบัติของน้ำและชนิดของปลาด้วย เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลการศึกษาในครั้งนี้จะเห็นว่า ค่าที่มีในแหล่งน้ำเป็นค่าที่ต่ำกว่ามาก แสดงว่าปริมาณทองแดงและแคดเมียมที่มีอยู่ในน้ำยังอยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อลูกปลากะพงขาวแต่อย่างใด

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางพยาธิสภาพของเหงือกของลูกปลากะพงขาว เนื่องจากพิษของทองแดง ที่ความเข้มข้นของสารละลายทองแดง 0.68, 1.52 และ 2.23 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าเซลล์โคนโดไซต์ ที่แกนกลางเส้นซี่เหงือก มีลักษณะบวม และนิวเคลียสของบางเซลล์โคนโดไซต์ถูกทำลาย นอกจากนี้ยังพบว่าบางบริเวณของเส้นซี่เหงือก มีเซลล์เม็ดเลือดมาอยู่รวมกลุ่มกันเซลล์อีพิเทอร์เลียลบวมน้ำ และพบว่าเกิดการเชื่อมต่อกันระหว่างเซกัลดารี ลามีลา ซึ่งมีผลให้เซลล์คลอไรด์และเซลล์เมือกถูกทำลาย และที่ความเข้มข้นของทองแดง 3.48 มิลลิกรัมต่อลิตร และยังสังเกตพบว่า เซลล์คลอไรด์บวมและเพิ่มจำนวนมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Karan et al. (1996) พบว่าที่ความเข้มข้นของทองแดง เท่ากับ 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร มีผลทำให้เซลล์อีพิเทอร์เลียลบวมน้ำและเพิ่มจำนวนขึ้น ที่ความเข้มข้น 1, 2 และ 4 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าเซลล์

คลอไรด์และเซลล์เมือกถูกทำลาย นอกจากนี้ยังพบว่า ที่ความเข้มข้นของทองแดงเท่ากับ 4.0 มิลลิกรัมต่อลิตร เกิดการเชื่อมต่อกันระหว่างเซกัลดารี ลามิลาอย่างสมบูรณ์ และ Campbell et al. (1999) พบว่า ความเข้มข้นของทองแดงเท่ากับ 10 ไมโครโมลต่อลิตร เวลามากกว่า 2 ชั่วโมง มีผลต่อบริเวณเหงือกปลาเรนท์โบว์ เทร้า โดยทำให้เซลล์มูโคไซต์เปลี่ยนแปลงไปบางเซลล์ และที่ความเข้มข้น เท่ากับ 50 ไมโครโมลต่อลิตร มีผลทำให้ปลายเซกัลดารี ลามิลาบวม นอกจากนี้ Dang et al. (2000) ศึกษาพิษทองแดงที่ความเข้มข้น 2.4 ไมโครโมล ต่อเหงือกปลาเรนท์โบว์เทร้า (*Oncorhynchus mykiss*) ขนาด 42 กรัม ภายใน 5 วัน พบว่า จำนวนของเซลล์จีอาร์-อิมมูโนรีแอกทีฟ (GR-ir) ในเหงือกปลาบริเวณเซลล์เยื่อบุลดลงและพบว่าเซลล์เมททาลโลไธโอนีน-อิมมูโนรีแอกทีฟ (MT-ir) เพิ่มจำนวนขึ้น

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางพยาธิสภาพของตับของลูกปลากะพงขาว เนื่องจากพิษของทองแดง พบว่าในทุกความเข้มข้นของทองแดง ทำให้เซลล์เฮปาโตไซร์บวมเซลล์ตับถูกทำลายเป็นบางบริเวณและเกิดช่องว่างขึ้นระหว่างเซลล์ตับ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Handy et al. (1999) ศึกษากับปลาปลาเรนท์โบว์เทร้าต์ ขนาด 46.5 กรัม โดยการผสมทองแดง 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร เป็นเวลา 3 เดือน พบว่าเกิดช่องว่างขึ้นระหว่างเซลล์เฮปาโตไซต์บริเวณเส้นเลือดฝอย

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางพยาธิสภาพของไตของลูกปลากะพงขาวเนื่องจากพิษของทองแดง พบว่าเซลล์ท่อขดส่วนต้นและท่อขดส่วนปลายมีลักษณะบวม แต่จากการศึกษาของ Romio et al. (2000) ที่ฉีดทองแดงเข้าไปในตัวปลากะพง พบว่าค่า 48-h EC_{50} ของทองแดง เท่ากับ 127 นาโนกรัมต่อกรัม มีผลให้ไลโซโซมใหญ่ขึ้นและทำลายเยื่อหุ้มไลโซโซม

จากการศึกษาพิษเฉียบพลันของทองแดงต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางพยาธิสภาพของเหงือก ตับและไต ของลูกปลากะพงขาว พบว่า เหงือกลูกปลาเป็นอวัยวะหลักที่แสดงการเปลี่ยนแปลงที่สังเกตเห็นอย่างชัดเจนเนื่องจากพิษเฉียบพลันของทองแดงซึ่งต่างจากการเปลี่ยนแปลงทางพยาธิสภาพของตับและไตที่คล้ายคลึงกันในทุกระดับความเข้มข้นและสอดคล้องกับการศึกษาของ Thophon et al. (2003) ที่พบว่า เหงือกและไตของปลากะพงขาวเป็นอวัยวะเบื้องต้นที่แสดงพิษเฉียบพลันของแคดเมียม ลักษณะการแสดงผลการเปลี่ยนแปลงของอวัยวะต่าง ๆ แตกต่างกันไปในแต่ละการศึกษา เนื่องจากปัจจัยต่าง ๆ ที่แตกต่างกันไปในแต่ละการทดลอง

เมื่อสังเกตพฤติกรรมของลูกปลากะพงขาวที่อยู่ในสารละลายทองแดงและแคดเมียม พบว่าเกิดความผิดปกติของระบบหายใจของปลาโดยสังเกตจากการเปิดและปิดของกระพุ้งแก้มจะเร็วกว่าปลาในชุดควบคุมและลักษณะการตายที่เหงือกกางออกทั้งสองข้างและปากเปิดกว้าง

Morgan and Kuhn (1974) พบว่า ความเข้มข้นของทองแดงที่เท่ากับหรือต่ำกว่า 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้อัตราการหายใจของปลา Largemouth Bass (*Micropterus salmoides*) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่าทองแดงตกตะกอนตั้งแต่ที่ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตรขึ้นไป โดยตะกอนตกอยู่ที่พื้นก้นภาชนะ และปริมาณตะกอนเพิ่มมากขึ้น เมื่อความเข้มข้นของทองแดงสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Riley (1965) ที่พบว่าทองแดงตกตะกอนจากสารละลายที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 2.5 มิลลิกรัมต่อลิตรขึ้นไป และพบว่าในน้ำกระด้างจะยิ่งทำให้ทองแดงตกตะกอนมากขึ้น นอกจากนี้ Juario, Silapa and Ontoy (1999) ได้ศึกษาพิษเฉียบพลันของทองแดงต่อลูกปลา Milkfish Fry (*C. chanos*) น้ำหนัก 4.1-7.8 มิลลิกรัม ความยาว 13-15 มิลลิเมตร พบว่าทองแดงตกตะกอนจากสารละลายที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 10 มิลลิกรัมต่อลิตรขึ้นไป ดังนั้นการตกตะกอนของทองแดงจึงเป็นผลให้ค่าความเข้มข้นของทองแดงที่มีอยู่จริงในน้ำแตกต่างกัน

สรุปผลการทดลอง

1. พิษเฉียบพลันของทองแดงและแคดเมียมที่มีต่อลูกปลากะพงขาว

ค่าความเข้มข้นของทองแดงและแคดเมียมที่ทำให้ลูกปลากะพงขาวตาย 50 เปอร์เซ็นต์ภายใน 96 ชั่วโมง (96-h LC_{50}) มีค่าเท่ากับ 2.7±0.47 และ 0.39±0.22 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

2. ลักษณะเหงือก ตับและไตลูกปลากะพงขาวเนื่องจากพิษของทองแดง

ลักษณะเหงือกของลูกปลากะพงขาวที่ความเข้มข้นของสารละลายทองแดง 0.68, 1.52 และ 2.23 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า เซลล์โคนไดไซต์ที่แกนกลางเส้นซี่เหงือกมีลักษณะบวม นิวเคลียสของเซลล์โคนไดไซต์บางเซลล์ถูกทำลาย บางบริเวณของเส้นซี่เหงือกพบว่า มีเซลล์เม็ดเลือดมาอยู่รวมกลุ่มกัน เซลล์เยื่อบุผิวบวมน้ำ และพบว่าเกิดการเชื่อมต่อกันระหว่างเซกัลดารีลามีลา ซึ่งมีผลให้เซลล์คลอไรด์ และเซลล์เมือก ถูกทำลาย และที่ความเข้มข้นของทองแดง 3.48 มิลลิกรัมต่อลิตร ยังสังเกตพบว่า เซลล์คลอไรด์บวมและเพิ่มจำนวนมากขึ้น ส่วนลักษณะตับของลูกปลากะพงขาว พบว่าเฮปาโตไซร์บวมและถูกทำลายเป็นบางบริเวณของตับ นอกจากนี้ยังพบว่าเกิดช่องว่างขึ้นระหว่างเซลล์ และลักษณะไตของลูกปลากะพงขาวพบว่า เซลล์ท่อขดส่วนต้นและท่อขดส่วนปลายมีลักษณะบวม

เหงือกของลูกปลากะพงขาวแสดงการเปลี่ยนแปลงที่สังเกตเห็นอย่างชัดเจน และจากการเปรียบเทียบระดับการเปลี่ยนแปลงทางพยาธิสภาพของเหงือกพบว่า ที่ความเข้มข้น 3.48 มิลลิกรัมต่อลิตร สังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด รองลงมาคือ ที่ความเข้มข้น 0.68 มิลลิกรัมต่อลิตร และน้อยสุดคือ ที่ความเข้มข้น 1.52 และ 2.23 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ตับและไต แสดง

การเปลี่ยนแปลงที่ไม่เด่นชัด ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าเหงือกของลูกปลากะพงขาวเป็นอวัยวะหลักที่แสดงการเปลี่ยนแปลงที่สังเกตเห็นอย่างชัดเจนจากพิษเฉียบพลันของทองแดง

ข้อเสนอแนะ

1. ควรทำการศึกษาความเป็นพิษระยะยาว (Chronic Toxicity) ของทองแดงต่อปลากะพงขาว เพื่อทราบถึงพิษของทองแดงต่อชีววิทยาและสรีระของปลากะพงขาว
2. ควรทำการศึกษาอัตราการสะสมของทองแดงหรือสารอื่น ๆ ในปลากะพงขาว
3. ควรทำการศึกษาโลหะหนักหรือปัจจัยอื่นๆ กับสัตว์หลาย ๆ ชนิด เพื่อใช้เป็นตัวแทนสำหรับการทดลองทางชีววิเคราะห์ต่อไป