การเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อทางจุลพยาธิวิทยาในหอยเจดีย์ปุ่มยอดแหลม *Tarebia granifera* (Lamarck, 1822) จากพื้นที่ปนเปื้อนโลหะหนัก (แคดเมียม) ที่ห้วยแม่ตาว จังหวัดตาก

สมบัติ สิงหาแก้ว* ปิณิดา จรดล เอกชัย จิรัฏฐิติกุล ศิริกัญญา ธัญญากร และประหยัด โภคฐิติยุกต์

ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล กรุงเทพฯ 10400

*E-mail: sombat.sin@mahidol.ac.th

รับบทความ: 12 กุมภาพันธ์ 2564 แก้ไขบทความ: 20 กรกฎาคม 2565 ยอมรับตีพิมพ์: 27 สิงหาคม 2565

บทคัดย่อ

ห้วยแม่ตาวเป็นลำน้ำขนาดเล็กที่เป็นสาขาของแม่น้ำเมย อยู่ในอำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ของประเทศไทย ซึ่งพบการปนเปื้อนโลหะหนักแคดเมียมในแหล่งน้ำปริมาณสูงซึ่งเป็นผลพวงจากการทำเหมืองแร่สังกะสีในพื้นที่ต้นน้ำ การปนเปื้อนแคดเมียมในแหล่งน้ำผิวดินสูงเกินค่ามาตรฐานส่งผลกระทบต่อสัตว์น้ำ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางจุลพยาธิวิทยาของเนื้อเยื่อในหอยเจดีย์ปุ่มยอดแหลม (*Tarebia granifera* Lamarck, 1822) ซึ่งเป็นสัตว์น้ำที่พบได้ทั่วไปในห้วยแม่ตาวและแม่น้ำเมย ในการศึกษานี้ได้เก็บตัวอย่างหอยจากพื้นที่ปนเปื้อนแคดเมียมและนำมาผ่านกระบวนการทางเนื้อเยื่อเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในเนื้อเยื่อจากอวัยวะต่าง ๆ โดยที่ตัวอย่างหอยที่เก็บจากแม่น้ำเมยถูกใช้เป็นกลุ่มอ้างอิง ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าหอยตัวอย่างที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ปนเปื้อนแคดเมียมมีการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อในอวัยวะต่าง ๆ เช่น เส้นใยกล้ามเนื้อในเนื้อเยื่อแผ่นเท้าผิดปกติ การลดจำนวนของซีเลียที่บริเวณซี่เหงือก เซลล์เยื่อบุลำไส้รูปร่างผิดปกติและการขยายออกของท่อภายในต่อมย่อยอาหาร การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อทางจุลพยาธิวิทยาของหอยเจดีย์ปุ่มยอดแหลมมีแนวโน้มสัมพันธ์กับพื้นที่ปนเปื้อนแคดเมียม และสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพในแหล่งน้ำที่มีการปนเปื้อนแคดเมียมได้

คำสำคัญ: ห้วยแม่ตาว แม่น้ำเมย แคดเมียม หอยเจดีย์ปุ่มยอดแหลม (*Tarebia granifera*) ตัวบ่งชี้ทางชีวภาพ

Histopathological Changes in Tissue of the Gastropod *Tarebia granifera* (Lamarck, 1822) from a Heavy Metal (Cadmium) Contaminated Area at Huai Mae Tao, Tak Province, Thailand

Sombat Singhakaew*, Pinida Joradon, Ekgachai Jeratthitikul, Sirikanya Thanyakorn and Prayad Pokethitiyook

Department of Biology, Faculty of Science, Mahidol University, Bangkok 10400, Thailand
*E-mail: sombat.sin@mahidol.ac.th

Received: 12 February 2021 Revised: 20 July 2022 Accepted: 27 August 2022

Abstract

Huai Mae Tao is a small creek tributary of Moei River, located in Mae Sot District, Tak Province, Thailand. It was found that the creek has been contaminated with cadmium (Cd) caused by the zinc mine activity in the upstream area. The Cd was exceeded the maximum allowable concentration in surface water sources that could effect on aquatic animals in this area. The aim of this research was to study the histopathological changes in tissue of the gastropod, *Tarebia granifera* (Lamarck, 1822), which is the most abundant aquatic mollusk found in Huai Mae Tao and Moei River. The snails were randomly collected from the Cd contaminated area. Then, they were histologically processed for investigating the histological changes in their tissue in the laboratory. The snails collected from Moei River were served as a reference group. The results revealed that *T. granifera* in contaminated area had abnormally changed in tissues of various organs such as abnormal muscle fibers in foot tissue, reduction of the number of gill cilia, irregular shaped epithelial cells in intestine, and dilation of digestive gland tubules. From the histological results of this study, *T. granifera* might be used as a bioindicator for Cd contaminated surface water resource.

Keywords: Huai Mae Tao, Moei River, Cadmium, *Tarebia granifera*, Bioindicator

บทนำ

ห้วยแม่ตาวเป็นลุ่มน้ำขนาดเล็กอยู่ในบริเวณอำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ทางภาคเหนือของประเทศไทย โดยมีทิศทางการไหลของน้ำจากทิศตะวันออกและไหลลงสู่แม่น้ำเมยทางทิศตะวันตก และมีบางตอนของลำน้ำที่ไหลผ่านเหมืองแร่สังกะสีประทานบัตร ห้วยแม่ตาวมีความสำคัญกับการดำรงชีวิตของชุมชนในพื้นที่ และมีการใช้

ประโยชน์จากแหล่งน้ำในหลายด้าน เช่น การปลูกข้าว การปลูกข้าวโพด การจับสัตว์น้ำเพื่อการบริโภค (Moolthongnoi and Arunlertaree, 2008) และเป็นแหล่งน้ำจืดสำหรับการอุปโภคและการบริโภค (Weeraprapan *et al.,* 2015)

ในช่วงเวลาที่ผ่านมา มีการศึกษาการปนเปื้อนของโลหะหนักกลุ่มแคดเมียมในดินนาข้าว และปัญหาเกี่ยวกับผลกระทบของมลพิษที่ปนเปื้อนในพื้นที่ (Moolthongnoi and Arunlertaree, 2008) พบว่า ผลผลิตทางเกษตรมีการสะสมของแคดเมียมซึ่งมาจากการผันน้ำปนเปื้อนจากลำน้ำแม่ตาวเข้าสู่พื้นที่เกษตรกรรม โดยปกติสังกะสีและแคดเมียมเป็นสายแร่ที่อยู่คู่กัน ดังนั้นตะกอนดินและน้ำที่ผ่านมาจากเหมืองสังกะสีที่อยู่ต้นน้ำแม่ตาวจึงสามารถเพิ่มอัตราการปนเปื้อนแคดเมียมในสิ่งแวดล้อมได้อย่างรวดเร็ว โดยความเข้มข้นของแคดเมียมในตะกอนดินเพิ่มมากขึ้นเมื่อผ่านเหมืองสังกะสี โดยพบมีปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมสูงเกินค่ามาตรฐานของประเทศไทยที่กำหนดให้มีความเข้มข้นน้อยกว่า 37 มิลลิกรัมต่อกิโลรัม (Thamjedsada and Chaiwiwatworakul, 2012) และกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติกำหนดค่ามาตรฐานของน้ำใช้ไม่ควรมีค่าแคดเมียมเกิน 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม นิคมอุตสาหกรรม และเขตประกอบการอุตสาหกรรมต้องไม่เกิน 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร นอกจากนี้ยังพบการปนเปื้อนแคดเมียมในน้ำปริมาณที่สูง เมื่อพิจารณาจากเกณฑ์คุณภาพน้ำเพื่อการคุ้มครองทรัพยากรสัตว์น้ำจืด พบว่า ลำน้ำห้วยแม่ตาวมีการปนเปื้อนของแคดเมียมเกินกว่าเกณฑ์ความเข้มข้นสูงสุดที่ยอมให้มีในแหล่งน้ำที่อาจส่งผลกระทบต่อทรัพยากรสัตว์น้ำจืดที่อาศัยอยู่ในลำน้ำ (Moolthongnoi and Arunlertaree, 2008) ปัญหาการปนเปื้อนแคดเมียมในพื้นที่โดยรอบห้วยแม่ตาวได้รับการแก้ไขและจัดการความเสี่ยงต่อสุขภาพของชาวบ้านในชุมชน โดยรัฐบาลจะรับซื้อข้าวที่ปลูกในพื้นที่ที่มีการปนเปื้อน และสนับสนุนให้มีการปลูกพืชที่ไม่ใช้เพื่อการบริโภค เช่น อ้อย ปาล์ม อย่างไรก็ตามแหล่งน้ำก็ยังมีการปนเปื้อนแคดเมียม แต่ไม่มีมาตรการที่ชัดเจนในการแก้ไขปัญหา (Songprasert *et al*., 2015) แคดเมียมเป็นโลหะหนักที่เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต การปนเปื้อนแคดเมียมในสิ่งแวดล้อมมักเกิดขึ้นจากกิจกรรมเหมืองแร่สังกะสี มักพบแคดเมียมในรูปแคดเมียมซัลไฟด์ แคดเมียมสามารถสะสมได้ทั้งในพืช สัตว์ และมนุษย์ โดยสัตว์และมนุษย์มักได้รับแคดเมียมจากการกินอาหารที่มีการปนเปื้อน แคดเมียมส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ เช่น ก่อให้เกิดโรคอิไต–อิไต ทำให้ท้องเสีย ปอดบวมน้ำ ปวดหัว คลื่นไส้อาเจียน หนาวสั่น อ่อนเพลีย ส่งผลต่อความดันโลหิต ก่อให้เกิดโรคกระดูกพรุน โรคเบาหวาน และเพิ่มความเสี่ยงในการเกิดมะเร็ง (Songprasert *et al*., 2015; Thamjedsada and Chaiwiwatworakul, 2012; Weeraprapan *et al*., 2015)

การศึกษาการปนเปื้อนของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมสามารถศึกษาได้หลายวิธี เช่น วิธีเคมีวิเคราะห์ซึ่งต้องใช้เครื่องมือที่มีความจำเพาะและราคาสูง หรือการใช้ตัวบ่งชี้ทางชีวภาพ (bio-indicator) โดยการติดตามผลกระทบของโลหะหนักต่อสิ่งมีชีวิต เช่น การประเมินการเปลี่ยนแปลงของชีวเคมี โครงสร้างของเซลล์ หรือเนื้อเยื่อทางจุลพยาธิวิทยาในสิ่งมีชีวิตที่ได้รับพิษจากโลหะหนัก โดยที่หอยฝาเดียวได้รับการยอมรับเป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพในการประเมินการปนเปื้อน

ของโลหะหนักในแหล่งน้ำ (Dummee *et al*., 2015; Karakaş and Otludil, 2020)

จากการสำรวจสิ่งมีชีวิตในลำน้ำห้วยแม่ตาวพบหอยเจดีย์ปุ่มยอดแหลม (*Tarebia granifera*, Lamarck 1822) จำนวนมาก โดยที่หอยชนิดนี้อาศัยอยู่ตามหน้าดินและพื้นตะกอนลำน้ำห้วยแม่ตาวทำให้มีโอกาสได้รับและสะสมโลหะหนักแคดเมียมและทำให้เกิดเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อทางจุลพยาธิวิทยาได้ (Appleton *et al*., 2009; Caroline and Diane, 2014; Neeratanaphan, 2010)

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อทางจุลพยาธิวิทยาในหอยเจดีย์ปุ่มยอดแหลมในลำน้ำห้วยแม่ตาว เพื่อให้ทราบถึงผลกระทบของโลหะหนัก(แคดเมียม) ต่อการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต และเพื่อเป็นการเฝ้าระวัง (biomonitoring) ในการใช้น้ำเพื่อการอุปโภคและการบริโภคของชาวบ้านในชุมชนต่อไป

วิธีดำเนินงานวิจัย

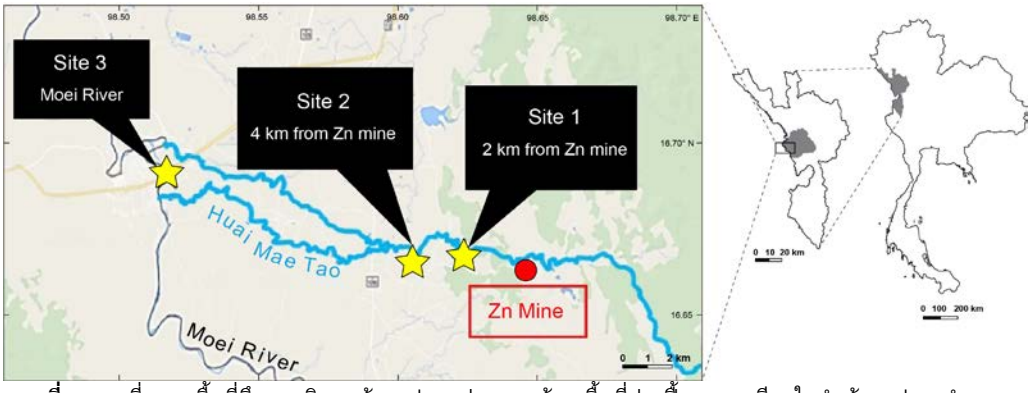
พื้นที่ศึกษาและการเก็บตัวอย่างหอยเจดีย์ปุ่มยอดแหลม

พื้นที่ศึกษาประกอบด้วยพื้นที่ปนเปื้อนแคดเมียมในลำห้วยแม่ตาว จำนวน 2 บริเวณ คือ พื้นที่ลำห้วยแม่ตาวที่ระยะห่างจากเหมืองแร่สังกะสีเป็นระยะทาง 2 กิโลเมตร (Site 1) และ 4 กิโลเมตร (Site 2) ตามลำดับ (ภาพที่ 1) ขณะที่แม่น้ำเมยใช้เป็นพื้นที่อ้างอิง (Site 3) เก็บตัวอย่างดินและน้ำทั้ง 3 พื้นที่ พื้นที่ละ 3 ตัวอย่าง เพื่อตรวจสอบปริมาณการปนเปื้อนแคดเมียมในตัวอย่างดินและน้ำ

เก็บตัวอย่างหอยเจดีย์ปุ่มยอดแหลมความยาวของเปลือกหอยขนาด 2–3 เซนติเมตร เก็บรวบรวมจากพื้นที่ศึกษาทั้งสามบริเวณในช่วงเดือนมกราคม 2564 พื้นละ 15 ตัวอย่าง และระบุชนิดตามเอกสารอ้างอิงของ Brandt (1974)

การวิเคราะห์โลหะหนักแคดเมียมในดินและน้ำตัวอย่าง

นำตัวอย่างดินและน้ำมาเตรียมให้เป็นสารละลายและวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักแคดเมียม ดังนี้ นำตัวอย่างดินที่ผ่านการอบแห้งและบดละเอียดน้ำหนัก 0.5 กรัม ใส่หลอดทดลอง (จำนวน 2 ซ้ำ) เติมสารละลายกรด HCl: HNO_3 อัตรา-



ภาพที่ 1 แผนที่แสดงพื้นที่ศึกษาบริเวณห้วยแม่ตาวประกอบด้วย พื้นที่ปนเปื้อนแคดเมียมในลำห้วยแม่ตาวจำนวน 2 พื้นที่ ประกอบด้วยพื้นที่ 1 (Site 1) และพื้นที่ 2 (Site 2) ซึ่งห่างจากบริเวณเหมืองแร่สังกะสีประมาณ 2 และ 4 กิโลเมตร ตามลำดับ และบริเวณแม่น้ำเมยเป็นพื้นที่มีการปนเปื้อนแคดเมียมต่ำซึ่งใช้เป็นพื้นที่อ้างอิง (Site 3)

ส่วน 3 : 1 หลอดละ 5 มิลลิลิตรนำไปย่อยที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นย่อยที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และเติม 5 N HCl หลอดละ 5 มิลลิลิตร แล้วย่อยต่อที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที แล้วกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman® เบอร์ 42 และปรับปริมาตรเป็น 25 มิลลิลิตร บรรจุลงขวดแล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสงของอะตอม (flame atomic absorption spectrophotometer) ส่วนการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ ทำโดยนำตัวอย่างน้ำหยดด้วยHNO_3 เข้มข้น 1% มาใส่ขวดพลาสติก 50 มิลลิลิตร แล้วปรับ pH ให้มีค่าเป็น 3.5 ด้วยกรด HCl กรองด้วยกระดาษกรอง Whatman® เบอร์ 42 ปรับปริมาตร 25 มิลลิลิตร บรรจุลงขวด จากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องดูดกลืนแสงของอะตอมต่อไป (Federation and A. P. H. Association, 2005)

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อทางจุลพยาธิวิทยาโดยใช้กระบวนการทางไมโครเทคนิค

สลบตัวอย่างหอยเจดีย์ปุ่มยอดแหลมโดยแช่ในสารละลายเมนทอลเข้มข้น 2% w/v (Araujo *et al*, 1995) จากนั้นนำเนื้อเยื่อส่วนเท้า (foot) เหงือก (gill) ลำไส้ (intestine) และต่อมสร้างน้ำย่อยอาหาร (digestive gland) มาทำไมโครเทคนิคด้วยการรักษาสภาพด้วยน้ำยา Bouin's fixative เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ผ่านกระบวนการดึงน้ำออกด้วยแอลกอฮอล์และนำไปฝังในพาราฟิน (paraffin method) และนำตัวอย่างตัดด้วยเครื่องตัดเนื้อเยื่อ (microtome) ความหนา 5 ไมโคร เมตร โดยเตรียมแต่ละตัวอย่างเนื้อเยื่อ 5 สไลด์ (10 sections/สไลด์) จากนั้นย้อมสีด้วย hematoxylin และ eosin (Bancroft and Gamble, 2007)

การวิเคราะห์ข้อมูลความผิดปกติของเนื้อเยื่อทางจุลพยาธิ

การวิเคราะห์เปรียบเทียบลักษณะของเนื้อเยื่อภายใต้กล้องจุลทรรศน์ (Olympus BX53) จากทุกบริเวณของเนื้อเยื่อในแต่ละ section เมื่อพบการเปลี่ยนแปลงจุลพยาธิวิทยาของเนื้อเยื่อให้เครื่องหมายบวกแทนปริมาณความรุนแรงของการเปลี่ยนแปลงที่พบ (Dummee, 2012) โดยให้สัญลักษณ์ดังนี้

+++ คือ มีการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อจากเนื้อเยื่อปกติที่ระดับ 71–100%

++ คือ มีการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อที่ระดับ 41–70%

+ คือ มีการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อที่ระดับ 1–40%

– คือ ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อและไม่มีคะแนน

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงจุลพยาธิวิทยาของเนื้อเยื่อและให้คะแนนอย่างอิสระจากผู้ศึกษา 3 ท่าน

ผลการทดลอง

ผลการศึกษาความเข้มข้นของแคดเมียมในน้ำและตะกอนดิน (ตาราง 1) พบว่า ปริมาณแคดเมียมทั้งในน้ำและตะกอนดินมีความเข้มข้นสูงกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อทางจุลพยาธิวิทยา พบว่าแผ่นเท้าของหอยเจดีย์ปุ่มยอดแหลมจากแม่น้ำเมยซึ่งใช้เป็นพื้นที่อ้างอิง (Site 3) ประกอบด้วยเนื้อเยื่อบุผิว (epithelium) เส้นใยกล้ามเนื้อ (columnar muscle fiber: Cm) ซึ่งมีลักษณะเรียวยาวและเรียงตัวขนานกัน พบนิวเคลียส (Nu) และเซลล์

ตาราง 1 ความเข้มข้นแคดเมียมในน้ำและตะกอนดินจากพื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษา (Site)	รายละเอียดพื้นที่ศึกษา	ความเข้มข้นแคดเมียม (หนึ่งส่วนในล้านส่วน, ppm)	
		น้ำ (มิลลิกรัม/ลิตร)*	ตะกอนดิน (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)**
1	ห่างจากเหมืองสังกะสี 2 ก.ม.	1.5	490
2	ห่างจากเหมืองสังกะสี 4 ก.ม.	0.5	335
3	แม่น้ำเมย	n.d.	10

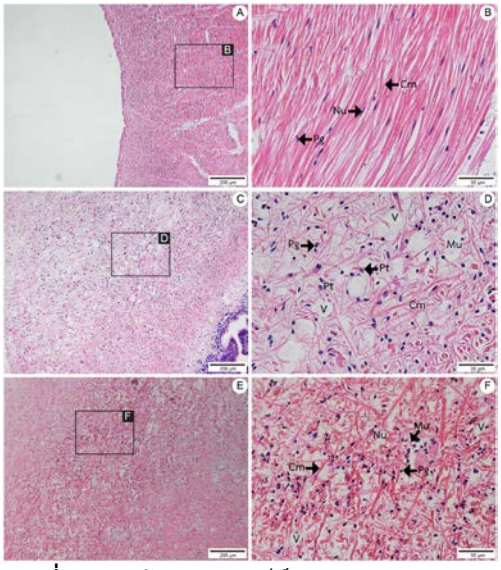
n.d. = ตรวจวัดไม่พบ

*ค่ามาตรฐานแคดเมียมในน้ำใช้ไม่เกิน 0.005 มิลลิกรัม/ลิตร

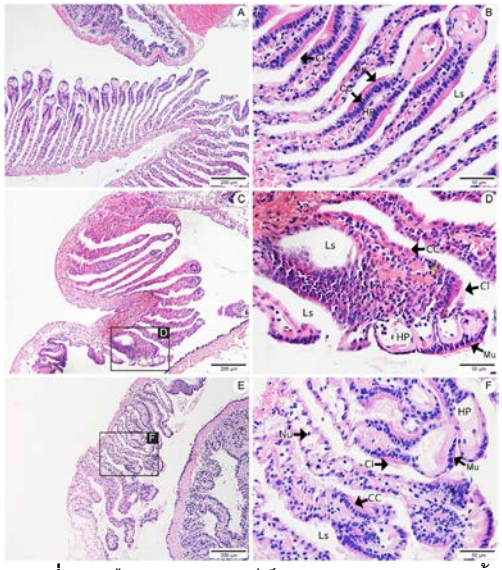
**ค่ามาตรฐานแคดเมียมในตะกอนดินควรน้อยกว่า 37 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

ที่บรรจุเม็ดสี (Pg) กระจายอยู่เพียงเล็กน้อยภายในเนื้อเยื่อ (ภาพที่ 2A, 2B) แผ่นเท้าในหอยที่เก็บจากลำน้ำห้วยแม่ตาวที่มีการปนเปื้อนโลหะหนักแคดเมียม ซึ่งห่างจากเหมืองสังกะสีเป็นระยะทาง 2 กิโลเมตร (Site 1) พบเส้นใยกล้ามเนื้อเรียงตัวกระจัดกระจายและถูกทำลาย ในบางส่วนพบความหนาแน่นของเส้นใยกล้ามเนื้อลดลง เซลล์ ที่บรรจุเม็ดสีมีจำนวนมากขึ้น พบการหลั่งเยื่อเมือก (Mu) และพบแวคิวโอล (V) ขยายขนาดและเพิ่มจำนวนมากขึ้น พบการรวมกลุ่มกันของโปรตีนทำให้เกิดกลุ่มก้อนโปรตีน (Pt) ขนาดใหญ่ (ภาพที่ 2C, 2D) ส่วนในแผ่นเท้าหอยที่เก็บจากลำน้ำห้วยแม่ตาวที่มีการปนเปื้อนโลหะหนักแคดเมียมซึ่งห่างจากเหมืองสังกะสีเป็นระยะทาง 4 กิโลเมตร (Site 2) พบเส้นใยกล้ามเนื้อมีการเรียงตัวของเนื้อเยื่อแผ่นเท้ามีการกระจายบางส่วน และพบการขยายขนาดของแวคิวโอล ซึ่งเป็นผลให้เส้นใยกล้ามเนื้อเรียงตัวเปลี่ยนไปเล็กน้อย พบเซลล์ที่บรรจุเม็ดสีเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับพื้นที่อ้างอิง (Site 3) พบการหลั่งเยื่อเมือก (Mu) แต่ไม่พบกลุ่มก้อนโปรตีนขนาดใหญ่ (ภาพที่ 2E, 2F)

เหงือกของหอยเจดีย์ปุ่มยอดแหลมจากแม่น้ำเมยประกอบด้วยเซลล์คอลัมนาร์ (columnar cells: CC) เรียงตัวต่อกันในซี่เหงือก แต่ละซี่เหงือกมีขนาดและความยาวที่ใกล้เคียงกันและเรียงตัวขนานกัน พบซิเลีย (cilia: Ci) บนผิวเซลล์คอลัมนาร์อย่างเด่นชัด พบช่องว่างในซี่เหงือก (hemolymph space: HP) และช่องว่างระหว่างซี่เหงือก (lamellar spaces: Ls) รวมทั้งพบการหลั่งเยื่อเมือก (ภาพที่ 3A, 3B) ในหอยที่เก็บจากลำน้ำห้วยแม่ตาวที่มีการปนเปื้อนโลหะหนักแคดเมียมซึ่งห่างจากเหมืองสังกะสีเป็นระยะทาง 2 กิโลเมตร พบความผิดปกติของเนื้อเยื่อ โดยพบการรวมตัวกันของซี่เหงือกทำให้มีลักษณะคล้ายรูปหัวขวาน พบเซลล์คอลัมนาร์ถูกทำลายและไม่เห็นขอบเขตของเซลล์ นิวเคลียสเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างหนาแน่น พบซิเลียถูกทำลาย ปลายซี่เหงือกบวมขึ้นและเกิดเป็นช่องภายในซี่เหงือกและมีขนาดใหญ่ พบการหลั่งเยื่อเมือกออกมาเป็นจำนวนมาก (ภาพที่ 3C, 3D) หอยที่เก็บจากลำน้ำห้วยแม่ตาวที่มีการปนเปื้อนโลหะหนักแคดเมียมซึ่งห่างจากเหมืองสังกะสีเป็นระยะทาง 4 กิโลเมตร พบว่า เซลล์คอลัมนาร์ถูกทำลาย ทำให้เกิดช่องภายในซี่เหงือกขนาดใหญ่ และส่วนปลายของบางซี่เหงือกนั้นเกิดการบวมพองหรือแยกออก และพบนิวเคลียสเพิ่มจำนวนมากกว่าปกติส่งผลให้เกิดความคดงอของซี่เหงือกที่ผิดรูปร่าง พบซิเลียถูกทำลายและอยู่เป็นกระจุก พบการหลั่งเยื่อเมือก (ภาพที่ 3E, 3F)



ภาพที่ 2 แผ่นเท้าของหอยเจดีย์ปุ่มยอดแหลม: จากแม่น้ำเมยประกอบด้วยเนื้อเยื่อบุผิว เส้นใยกล้ามเนื้อ (Cm), นิวเคลียส (Nu) และเซลล์ที่บรรจุเม็ดสี (Pg) (2A, 2B) หอยตัวอย่างที่เก็บจากลำน้ำห้วยแม่ตาวห่างจากเหมืองสังกะสีเป็นระยะทาง 2 กิโลเมตร (2C, 2D) และหอยตัวอย่างที่เก็บจากลำน้ำห้วยแม่ตาวห่างจากเหมืองสังกะสีเป็นระยะทาง 4 กิโลเมตร (2E, 2F) Cm: columnar muscle fiber; Nu: nucleus; Pg: pigment cells; Mu: mucus; V: vacuole และ Pt: กลุ่มก้อนโปรตีน



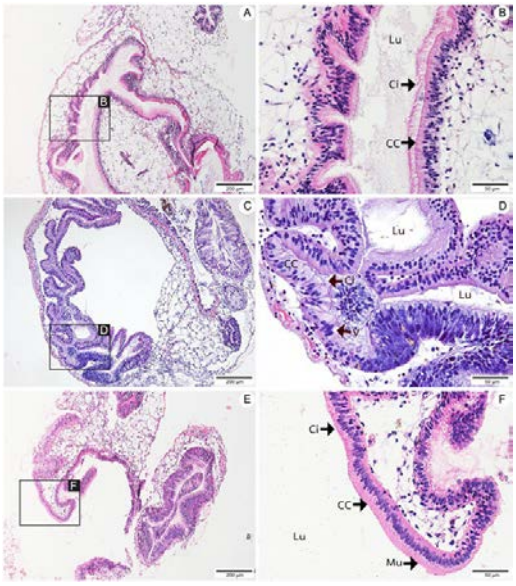
ภาพที่ 3 เหงือกของหอยเจดีย์ปุ่มยอดแหลม: จากแม่น้ำเมยประกอบด้วยเซลล์คอลัมนาร์ (CC) และมีการหลั่งเยื่อเมือก (Mu) เล็กน้อยในช่องว่างระหว่างซี่เหงือก (Ls) (3A, 3B) หอยตัวอย่างที่เก็บจากลำน้ำห้วยแม่ตาวที่ห่างจากเหมืองสังกะสีเป็นระยะทาง 2 กิโลเมตร (3C, 3D) และหอยตัวอย่างที่เก็บจากลำน้ำห้วยแม่ตาวห่างจากเหมืองสังกะสีเป็นระยะทาง 4 กิโลเมตร (3E, 3F) CC: columnar cells; Ci: cilia; HP: hemolymph space; Ls, lamellar spaces; Mu, mucus และ Nu: nucleus

เยื่อบุลำไส้ของหอยเจดีย์ปุ่มยอดแหลมจากแม่น้ำเมย ประกอบด้วยเซลล์คอลัมนาร์เรียงตัวต่อกัน และมีนิวเคลียส รูปไข่อยู่ที่ฐานของเซลล์ โดยด้านบนเซลล์คอลัมนาร์นั้นพบซิเลียเรียงตัวต่อกันตามแนวยาวภายในลำไส้ และช่องว่างกลางลำไส้ (lumen: Lu) (ภาพที่ 4A, 4B) ในหอยที่เก็บจากลำน้ำห้วยแม่ตาวห่างจากเหมืองสังกะสีเป็นระยะทาง 2 กิโลเมตรพบแวคิวโอ (V) ขนาดใหญ่ทำให้เซลล์คอลัมนาร์ขยายขนาดใหญ่ขึ้นและมีรูปร่างที่ผิดปกติไปจากเดิม พบการทำลายของซิเลียบนผิวหน้าของเยื่อบุผิว พบการหลั่งเยื่อเมือกเพิ่มมากขึ้น (ภาพที่ 4C, 4D) ในหอยที่เก็บจากลำน้ำห้วยแม่ตาวที่ห่างจากเหมือง 4 กิโลเมตร พบเซลล์คอลัมนาร์ในบางช่วงของลำไส้พบการหลั่งเยื่อเมือกเล็กน้อยบริเวณด้านบนของเซลล์คอลัมนาร์ พบซิเลียมีขนาดสั้นลงซึ่งไม่แตกต่างจากกลุ่มหอยเจดีย์ปุ่มยอดแหลมจากแม่น้ำเมย (ภาพที่ 4E, 4F)

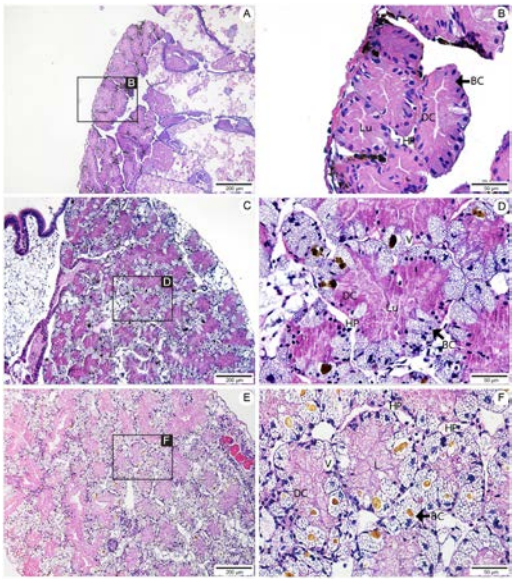
ต่อมสร้างน้ำย่อยอาหารในหอยเจดีย์ปุ่มยอดแหลมจากแม่น้ำเมยประกอบด้วย tubule เป็นจำนวนมากซึ่งภายในแต่ละ tubule ประกอบด้วยเซลล์ย่อยอาหาร (digestive cells: DC) และ

เซลล์เบโซฟิลล์ (basophilic cells: BC) แทรกอยู่เล็กน้อย มีช่องว่างตรงกลาง (Lumen: Lu) และช่องว่างระหว่างท่อ (hemolymph space: HP) (ภาพที่ 5A, 5B) ในหอยตัวอย่างที่เก็บจากลำน้ำห้วยแม่ตาวห่างจากเหมืองสังกะสีเป็นระยะทาง 2 กิโลเมตร พบเซลล์ย่อยอาหารขยายขนาดใหญ่ขึ้น ขณะที่ lumen มีขนาดลดลงและขอบเขตของเซลล์ไม่ชัดเจน นอกจากนี้เซลล์ย่อยอาหารในบาง tubule ถูกทำลายไปทั้งหมดเหลือเพียงเซลล์เบโซฟิลล์ ซึ่งขยายขนาดใหญ่ขึ้นอย่างเห็นได้ชัดและพบแวคิวโอลขนาดใหญ่ภายในเซลล์ (ภาพที่ 5C, 5D) ในหอยเจดีย์ปุ่มยอดแหลมที่เก็บจากลำน้ำห้วยแม่ตาวห่างจากเหมืองสังกะสีเป็นระยะทาง 4 กิโลเมตร พบว่า เซลล์ย่อยอาหารขยายขนาดใหญ่ขึ้นแต่ยังสังเกตขอบเขตของเซลล์ได้อย่างชัดเจน แต่ช่อง lumen แคบลงและเซลล์เบโซฟิลล์ขยายขนาดใหญ่ขึ้นและเกิดแวคิวโอลภายในเซลล์เบโซฟิลล์ (ภาพที่ 5E, 5F)

จากการประเมินระดับการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อในอวัยวะต่าง ๆ ของหอยเจดีย์ปุ่มยอดแหลมในพื้นที่ปนเปื้อนโลหะหนักแคดเมียม (ตาราง 2) พบว่า จำนวนหอยในบริเวณ Site 1 มี



ภาพที่ 4 ลำไส้ของหอยเจดีย์ปุ่มยอดแหลม: จากแม่น้ำเมยประกอบด้วยเนื้อเยื่อบุผิวชนิดเซลล์คอลัมนาร์ (CC) (4A, 4B) หอยตัวอย่างที่เก็บจากลำน้ำห้วยแม่ตาวที่ห่างจากเหมืองสังกะสีเป็นระยะทาง 2 กิโลเมตร จะพบจำนวนแวคิวโอ (V) ขนาดใหญ่ขึ้น เซลล์คอลัมนาร์ขนาดใหญ่ขึ้นและพบการหลั่งเยื่อเมือกมากขึ้น (4C, 4D) หอยตัวอย่างที่เก็บจากลำน้ำห้วยแม่ตาวที่ห่างจากเหมืองสังกะสีเป็นระยะทาง 4 กิโลเมตรพบการหลั่งเยื่อเมือกบ้างเล็กน้อย (4E, 4F) CC: columnar cell; Lu: lumen; Ci: cilia



ภาพที่ 5 ต่อมสร้างน้ำย่อยอาหารของหอยเจดีย์ปุ่มยอดแหลม: ต่อมสร้างน้ำย่อยอาหารจากแม่น้ำเมยประกอบด้วย tubules ในแต่ละ tubule ประกอบด้วยเซลล์ย่อยอาหาร (DC) และเซลล์เบโซฟิลล์ (BC) แทรกอยู่ (5A, 5B) หอยตัวอย่างที่เก็บจากลำน้ำห้วยแม่ตาวห่างจากเหมืองสังกะสีเป็นระยะทาง 2 กิโลเมตร (5C, 5D) หอยตัวอย่างที่เก็บจากลำน้ำห้วยแม่ตาวห่างจากเหมืองสังกะสีเป็นระยะทาง 4 กิโลเมตร (5E, 5F) DC: digestive cells; BC: basophilic cells; Lu, lumen; HP: hemolymph space; V: vacuole

เปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อมากที่สุด ทั้งเนื้อเยื่อแผ่นเท้า เหงือก ลำไส้ และต่อมสร้างน้ำย่อยอาหาร รองลงมา คือ Site 2 และ Site 3 ตามลำดับ

อภิปรายผล

จากผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อในหอยเจดีย์ปุ่มยอดแหลมพบการเปลี่ยน-

ตาราง 2 การประเมินระดับของการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อในอวัยวะต่าง ๆ ของหอยเจดีย์ปุ่มยอดแหลมในพื้นที่ปนเปื้อนโลหะหนักแคดเมียมเมื่อเทียบกับหอยตัวอย่างที่เก็บจากแม่น้ำเมย (พื้นที่อ้างอิง)

เนื้อเยื่อแผ่นเท้า (foot)			
ลักษณะที่เปลี่ยนแปลง	**Site 1**	**Site 2**	**Site 3**
เส้นใยกล้ามเนื้อถูกทำลายและเรียงตัวกระจัดกระจาย	+++	++	+
การเพิ่มจำนวนของเซลล์ที่บรรจุเม็ดสี	++	+++	+
การเพิ่มขนาดและจำนวนของแวคิวโอล	+++	++	+
พบกลุ่มก้อนโปรตีน	++	–	–
การเพิ่มของเยื่อเมือก	++	++	–
จำนวนหอยที่พบความผิดปกติ/จำนวนหอยทั้งหมด	12/15	9/15	3/15
เนื้อเยื่อเหงือก (gill)			
ลักษณะที่เปลี่ยนแปลง	**Site 1**	**Site 2**	**Site 3**
Columnar cells ถูกทำลาย	+++	++	+
การลดขนาดและจำนวนของซีเลีย	+++	+++	+
การเพิ่มขนาดของ hemolymph space	+++	+++	+
การเพิ่มขึ้นของเยื่อเมือก	+++	++	–
การเพิ่มจำนวนนิวเคลียส	+++	++	–
จำนวนหอยที่พบความผิดปกติ/จำนวนหอยทั้งหมด	15/15	12/15	3/15
เนื้อเยื่อลำไส้ (intestine)			
ลักษณะที่เปลี่ยนแปลง	**Site 1**	**Site 2**	**Site 3**
Columnar cells เกิดการขยายตัว	+++	++	–
การลดขนาดและจำนวนของซีเลีย	++	+++	+
การเพิ่มของแวคิวโอลภายใน Columnar cells	+++	–	–
การเพิ่มขึ้นของเยื่อเมือก	++	+	+
ขนาดของ Lumen แคบลง	+++	–	–
จำนวนหอยที่พบความผิดปกติ/จำนวนหอยทั้งหมด	13/15	6/15	2/15
เนื้อเยื่อต่อมสร้างน้ำย่อยอาหาร (digestive gland)			
ลักษณะที่เปลี่ยนแปลง	**Site 1**	**Site 2**	**Site 3**
การเพิ่มขนาดของ Digestive cells	+++	++	+
การเพิ่มขนาดของ Basophilic cells	+++	++	+
ขนาดของ Lumen แคบลง	+++	++	+
จำนวนหอยที่พบความผิดปกติ/จำนวนหอยทั้งหมด	9/15	6/15	3/15

หมายเหตุ
– คือ ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อ (ไม่มีคะแนน)
\+ คือ มีการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อที่ระดับ 1–40%
++ คือ มีการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อที่ระดับ 41–70%
+++ คือ มีการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อที่ระดับ 71–100%

แปลงของเนื้อเยื่อในทุกอวัยวะที่ศึกษา ได้แก่ แผ่นเท้า เหงือก ลำไส้ และต่อมสร้างน้ำย่อยอาหาร โดยความสามารถของสารเคมีที่ทำให้เกิดอันตรายต่อร่างกายของสิ่งมีชีวิตจะขึ้นอยู่กับปัจจัย 3 ประการได้แก่ 1) ความรุนแรงของสารแต่ละชนิด 2) ความเข้มข้นของสาร 3) ชนิดของเนื้อเยื่อ โดยที่เนื้อเยื่อของสัตว์ชนิดเดียวกันมีความไวของการตอบสนองต่อความเป็นพิษของสารเคมีที่แตกต่างกัน โดยกระบวนการที่ทำให้เกิดความเป็นพิษของสารเคมีแต่ละชนิดบ่งบอกถึงอวัยวะที่จะได้รับผลกระทบ ซึ่งสารพิษแต่ละชนิด ทำให้เกิดความเสียหายที่แตกต่างกัน โดยสารพิษบางชนิดอาจทำให้เกิดความเสียหายต่ออวัยวะภายนอกหากสารพิษอยู่ล้อมรอบร่างกาย หรืออาจทำให้เกิดความเสียหายต่ออวัยวะภายในเช่น ระบบทางเดินอาหาร หากสารพิษมีการปนเปื้อนเข้าสู่ร่างกายจากการกิน นอกจากนั้นสารพิษอาจไม่ทำให้เกิดพิษเฉียบพลัน แต่ส่งผลระยะยาวแก่อวัยวะที่เก็บสะสมสารพิษ รวมถึงอาจส่งผลต่ออวัยวะที่ทำหน้าที่กำจัดสารพิษ อย่างไรก็ตามโดยส่วนมากความเป็นพิษจะเกิดขึ้นกับเนื้อเยื่อหลาย ๆ ส่วนร่วมกัน ซึ่งผลกระทบที่เกิดขึ้นขึ้นอยู่กับระดับความเข้มข้นของสารพิษเป็นสำคัญ (Kaewsawangsup, 1996)

จากผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงเนื้อเยื่อแผ่นเท้าในหอยเจดีย์ปุ่มยอดแหลม พบความผิดปกติที่เกิดขึ้นโดยรวม ได้แก่ พบเส้นใยกล้ามเนื้อเรียงตัวกระจัดกระจาย และบางส่วนถูกทำลาย พบความหนาแน่นของเส้นใยกล้ามเนื้อลดลง เซลล์ที่บรรจุเม็ดสีมีจำนวนมากขึ้น พบการหลั่งเยื่อเมือก และพบแวคิวโอล ขยายขนาดและเพิ่มจำนวนมากขึ้น พบการรวมกลุ่มกันของโปรตีนทำให้เกิดกลุ่มก้อนโปรตีนขนาดใหญ่ ซึ่งพบกลุ่มก้อนโปรตีนนี้พบเฉพาะในหอยจากลำน้ำห้วยแม่ตาวซึ่งห่างจากเหมืองแร่สังกะสีเป็นระยะทาง 2 กิโลเมตร จากการประเมินผลระดับการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อแผ่นเท้า พบการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อแผ่นเท้าสูงสุด (11/15) ในกลุ่มที่เก็บจากลำน้ำห้วยแม่ตาวห่างจากเหมือง 2 กิโลเมตร แผ่นเท้าเป็นอวัยวะที่หอยใช้ในการเคลื่อนที่ ดังนั้นจึงมีการสัมผัสกับตะกอนดินที่มีการปนเปื้อนโลหะหนักแคดเมียม จึงเกิดการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อในส่วนนี้ และการที่หอยที่เก็บจากลำน้ำห้วยแม่ตาวซึ่งห่างจากเหมืองแร่สังกะสีเป็นระยะทาง 2 กิโลเมตรมีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด อาจเนื่องจากบริเวณนั้นอยู่ใกล้กับเหมืองสังกะสีมากกว่าจุดอื่น ๆ ที่ศึกษา จึงมีการปนเปื้อนของโลหะหนักในตะกอนดินมากที่สุด โดยความผิดปกติที่เกิดขึ้นนี้ใกล้เคียงกับการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อเท้าในหอย *Bithynia siamensis* ที่ถูกเลี้ยงในน้ำที่มีสารสกัดจากเปลือกมังคุด สารสกัดเมล็ดคามิเลีย (camellia) และ niclosamide เนื้อเยื่อแผ่นเท้าของหอย *B. siamensis* เกิดความผิดปกติ ได้แก่ เส้นใยกล้ามเนื้อเรียงตัวกระจัดกระจาย แวคิวโอลเพิ่มจำนวนมากขึ้น จำนวนนิวเคลียสเพิ่มขึ้นและจำนวนเซลล์บรรจุเม็ดสีมากขึ้นกว่าปกติ และมีการเพิ่มขึ้นของกลุ่มก้อนโปรตีน นอกจากนี้ผลที่เกิดขึ้นนี้คล้ายกับผลของการเปลี่ยนแปลงเนื้อเยื่อในหอยคัน (*Lymnaea stagnalis*) ที่เลี้ยงในน้ำที่มีสารกำจัดศัตรูพืช (Thiodan) ด้วยเช่นกัน (Aukkanimart *et al*., 2013)

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของซี่เหงือกในหอยเจดีย์ปุ่มยอดแหลม พบความผิดปกติที่เกิดขึ้นโดยรวม ได้แก่ เซลล์คอลัมนาร์ถูกทำลาย ทำให้ช่องว่างในซี่เหงือกและช่องว่างภายในปลายซี่เหงือกมีขนาดใหญ่ขึ้น ที่ปลายบางซี่

เหงือกเกิดการบวมพองหรือแยกออก พบนิว-เคลียสเพิ่มจำนวนมากกว่าปกติเป็นผลให้เกิดความคดงอของซี่เหงือกที่ผิดรูปร่างจากปกติ พบซิเลียถูกทำลายและอยู่เป็นกระจุก พบการหลั่งเยื่อเมือกที่ปลายของซี่เหงือก จากการประเมินผลระดับการเปลี่ยนแปลงของซี่เหงือกพบว่าการเปลี่ยนแปลงของซี่เหงือกในหอยเจดีย์ปุ่มยอดแหลมกลุ่มที่เก็บจากลำน้ำห้วยแม่ตาวซึ่งห่างจากเหมืองแร่สังกะสีเป็นระยะทาง 2 กิโลเมตร มีการเปลี่ยนแปลงสูงที่สุด (15/15) ขณะที่กลุ่มที่เก็บห่างจากเหมือง 4 กิโลเมตรพบการเปลี่ยน-แปลงของซี่เหงือกลองลงมา (12/15) หอยใช้ซี่เหงือกเป็นอวัยวะแลกเปลี่ยนแก๊ส ดังนั้นจึงมีการสัมผัสกับน้ำที่มีการปนเปื้อนของแคดเมียมอยู่ตลอดเวลา ทำให้เกิดความผิดปกติของซี่เหงือก การเปลี่ยนแปลงของซี่เหงือกทางจุลพยาธิวิทยานั้นอาจเป็นผลมาจากโลหะหนัก ซึ่งส่งผลต่อการแลกเปลี่ยนแก๊สและการขัดขว้างระบบหมุนเวียนโลหิต การเปลี่ยนแปลงของซี่เหงือกในหอยเจดีย์ปุ่มยอดแหลมนั้น คล้ายกับการเปลี่ยนแปลงซี่เหงือกในหอยเชอรี่ (*Pomacea canaliculata*) ที่ถูกทำลายโดยโลหะหนัก เช่น ซิเลียถูกทำลาย เซลล์คอลัมนาร์ขยายขนาด (Aukkanimart *et al*., 2013) นอกจากนี้ส่วนในหอยเชอรี่ที่เลี้ยงในน้ำที่มีโลหะทองแดงพบการเปลี่ยนแปลงที่ผิดปกติเช่น มีการลดจำนวนลงของซิเลีย พบการหลั่งเยื่อเมือกในปริมาณที่มากขึ้นและเซลล์คอลัมนาร์ เกิดการเสื่อมสภาพ ซึ่งคล้ายกับผลของการศึกษาของงานวิจัยครั้งนี้ (Dummee *et al*., 2015) การหลั่งเยื่อเมือกออกมาในปริมาณมากนั้นอาจเป็นอุปสรรคในการแลกเปลี่ยนแก๊สของซี่เหงือก ซึ่งอาจมีผลทำให้เกิดอันตรายถึงแก่ชีวิตของหอยได้ (Dummee *et al*., 2015)

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของลำไส้ในหอยเจดีย์ปุ่มยอดแหลม พบความผิดปกติที่เกิดขึ้นโดยรวม ได้แก่ พบเซลล์คอลัมนาร์มีการเรียงตัวที่ผิดปกติและมีการขยายขนาดของเซลล์ พบการหลั่งเยื่อเมือกปริมาณมากและหนาแน่นบริเวณด้านบนของเซลล์ พบซีเลียมีขนาดสั้นลงอยู่เป็นกระจุกและบางส่วนถูกทำลายไปเกือบทั้งหมด จากการประเมินผลระดับการเปลี่ยน-แปลงของลำไส้พบการเปลี่ยนแปลงสูงสุด (13/15) ในหอยเจดีย์ปุ่มยอดแหลมที่เก็บจากลำน้ำห้วยแม่ตาวซึ่งห่างจากเหมืองแร่สังกะสี 2 กิโลเมตร ส่วนกลุ่มที่เก็บจากลำน้ำห้วยแม่ตาวซึ่งห่างจากเหมืองแร่สังกะสีเป็นระยะทาง 4 กิโลเมตร พบการเปลี่ยนแปลงของผนังลำไส้ในระดับที่เท่ากับ (6/15) เนื่องจากอาหารที่หอยกินเข้าไปนั้นอาจมีการปนเปื้อนของแคดเมียมเมื่อเข้าสู่ระบบทางเดินอาหาร จึงเกิดความผิดปกติของเนื้อเยื่อลำไส้ ความผิดปกติที่เกิดขึ้นนั้น คล้ายกับการเปลี่ยน-แปลงของเนื้อเยื่อในหอย *B. siamensis* ที่เลี้ยงในน้ำที่มี niclosamide (Aukkanimart *et al*., 2013) และใกล้เคียงกับการเปลี่ยนแปลงของผนังลำไส้ในหอยเชอรี่ ซึ่งถูกเลี้ยงในน้ำที่มีโลหะหนักทอง-แดง (Dummee *et al*., 2015) การหลั่งเยื่อเมือกออกมานี้แสดงถึงการตอบสนองของร่างกายต่อสารพิษเพื่อให้สารพิษเจือจางลงและเกิดการขจัดสารพิษนั้น ๆ ออกจากร่างกาย (Aukkanimart *et al*., 2013)

นอกจากนี้ในการเปลี่ยนแปลงเนื้อเยื่อลำไส้ในหอยขม (*Filopaludina martensi*) ที่ถูกทำลายโดยโลหะหนักตะกั่วพบการเปลี่ยนแปลงและการทำลายของซิเลีย การเปลี่ยนแปลงรูปร่างและการเรียงตัวที่ผิดปกติของเซลล์คอลัมนาร์ มีการหลั่งเยื่อเมือกที่มากกว่าปกติ (Jantataeme

et al., 1996) การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนี้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อลำไส้งานวิจัยนี้เช่นกัน โดยการสูญเสียซิเลียเป็นสาเหตุที่ทำให้เยื่อหุ้มเซลล์เกิดการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากเกิดการชักนำ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของส่วนประกอบภายในเซลล์ และเปลี่ยนแปลงความเสถียรของเยื่อหุ้มเซลล์ จากการเกิดปฏิกิริยาโดยตรงระหว่างเยื่อหุ้มเซลล์และสารพิษที่ปนเปื้อนเข้าสู่ท่อทางเดินอาหาร (Aukkanimart *et al*., 2013)

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของต่อมสร้างน้ำย่อยอาหารในหอยเจดีย์ปุ่มยอดแหลม พบความผิดปกติที่เกิดขึ้นโดยรวม ได้แก่ เซลล์ย่อยอาหารขยายขนาดใหญ่ขึ้นและขอบเขตของเซลล์ไม่ชัดเจนเป็นสาเหตุทำให้เกิดการแคบลงของช่องรู lumen นอกจากนี้เซลล์ย่อยอาหารบางท่อถูกทำลายไปทั้งหมดเหลือเพียงเซลล์เบโซฟิลล์ซึ่งขยายขนาดใหญ่ขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับกลุ่มที่เป็นปกติ นอกจากนี้ยังพบแวคิวโอลขยายขนาดใหญ่ขึ้นภายในเซลล์เบโซฟิลล์ ซึ่งจากการประเมินผลระดับการเปลี่ยนแปลงของต่อมสร้างน้ำย่อยอาหาร พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงของต่อมสร้างน้ำย่อยอาหารในหอยเจดีย์ปุ่มยอดแหลมกลุ่มที่เก็บจากลำน้ำห้วยแม่ตาวซึ่งห่างจากเหมืองแร่สังกะสีเป็นระยะทาง 2 กิโลเมตร พบการเปลี่ยนแปลงของต่อมสร้างน้ำย่อยอาหารสูงที่สุด (9/15) และในกลุ่มที่ห่างจากเหมืองแร่สังกะสีเป็นระยะทาง 4 กิโลเมตร พบการเปลี่ยนแปลงของต่อมสร้างน้ำย่อยอาหารลองลงมา (6/15) ซึ่งความผิดปกติที่เกิดขึ้นนั้นคล้ายกับการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อในหอยคัน (*L. stagnalis*) ที่สัมผัสสารกำจัดศัตรูพืช (Thiodan) (Erhan *et al*, 2005) รวมทั้งคล้ายกับการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อในหอยเชอรี่ซึ่งสัมผัสสารละลายโลหะหนักทองแดง (Dummee *et al*., 2015) และหอย *B. siamensis* ที่เลี้ยงในสารสกัดจากเปลือกมังคุด สารสกัดจากเมล็ดคามิเลีย และ niclosamide (Aukkanimart *et al*., 2013)

ทั้งนี้มีงานวิจัยผลของการสะสมของโลหะหนักทองแดงในเนื้อเยื่อแผ่นเท้า เยื่อบุลำไส้ และต่อมสร้างน้ำย่อยอาหารในหอยเชอรี่พบมีการสะสมของทองแดงภายในเนื้อเยื่อแผ่นเท้า 20–40% และสะสมที่อวัยวะอื่น ๆ อีก 60–80% เช่นเดียวกับในหอยคัน (*L. stagnalis*) และหอยทาก (*Helix aspersa*) (Dummee *et al*., 2015) โดยมีงานวิจัยรายงานว่าอวัยวะที่มีการสะสมของโลหะหนักมากที่สุด ได้แก่ ซี่เหงือก และต่อมสร้างน้ำย่อยอาหาร ซึ่งเป็นอวัยวะเป้าหมายที่สำคัญของโลหะหนัก เนื่องจากซี่เหงือกเป็นอวัยวะที่สัมผัสกับสิ่งแวดล้อมโดยตรง และต่อมสร้างน้ำย่อยอาหารทำหน้าที่ในการย่อยอาหารทั้งภายในและภายนอกเซลล์ ควบคุมอัตราเมแทบอลิซึมของร่างกาย และทำหน้าที่ขจัดสารพิษ จึงทำให้มีการสะสมของโลหะหนัก โดยจากงานวิจัยนี้ทำให้ทราบถึงผลของโลหะหนักแคดเมียมที่สะสมอยู่ในลำน้ำห้วยแม่ตาวต่อการเปลี่ยนแปลงเนื้อเยื่อของอวัยวะภายในของสัตว์น้ำที่อาศัยอยู่ในลำน้ำนี้ และแสดงให้เห็นว่าหอยเจดีย์ปุ่มยอดแหลมสามารถเป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพ (bioindicator) ในการประเมินการปนเปื้อนโลหะหนักแคดเมียมในระบบนิเวศได้ เนื่องจากหอยชนิดนี้มีถิ่นอาศัยกระจายตัวในลำน้ำและง่ายต่อการเก็บตัวอย่างเพื่อนำมาศึกษาและติดตามสถานการณ์การปนเปื้อนของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมได้ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล สนับสนุนงบประมาณในการทำงานวิจัย และขอขอบคุณเพื่อนร่วมงาน และนักศึกษาภาควิชาชีววิทยา มหาวิทยาลัยมหิดล ที่ช่วยเหลือในการเก็บตัวอย่างภาคสนามและการศึกษาในห้องปฏิบัติการ

งานวิจัยนี้ดำเนินการภายใต้คำขออนุญาตการใช้สัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ใบอนุญาตเลขที่ MU SC63–039–547 และปฏิบัติตามข้อแนะนำการใช้สัตว์เพื่องานวิทยาศาสตร์ ของสถาบันพัฒนาการดำเนินการต่อสัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์

เอกสารอ้างอิง

Appleton, C. C., Forbes, A. T., and Demetriades, N. T. (2009). The occurrence, bionomics and potential impacts of the invasive freshwater snail *Tarebia granifera* (Lamarck, 1822) (Gastropoda: Thiaridae) in South Africa. **Zoology Medicine** 83(4): 525–536.

Araujo, R., Remon, J. M., Moreno, D., and Ramos, M. A. (1995). Relaxing techniques of freshwater molluscs: Trials for evaluation of different methods. **Malacologia** 36(12): 29–41.

Aukkanimart, R., Boonmars, T., Pinlaor, S., Tesana, S., Aunpromma, S., Booyarat, C., and Punjaruk, W. (2013). Histopathological changes in tissues of *Bithynia siamensis goniomphalos* incubated in crude extracts of camellia seed and mangosteen pericarp. **Korean Journal of Parasitology** 51(5): 537–544.

Bancroft, J. D., and Gamble, M. (2007). **Theory and Practice of Histological Techniques**. 7th ed. London, UK: Chuchill Livingstone.

Brandt, R. A. M. (1974). The non–marine aquatic Mollusca of Thailand. **Archiv für Molluskenkunde** 105: 1–423.

Caroline, D. H., and Diane, J. (2014). The effect of sedimentation levels on *Tarebia granifera* in freshwater lagoons in Punta Cana, Dominican Republic. **The Journal of Sustainable Development** 11(1): 132–152.

Dummee, V. (2012). **Accumulation and Toxicity of Sediments from Beung Boraphet in *Pomacea canaliculata* Light and Electron Microscope**. Doctoral Dissertation. Bangkok: Mahidol University. (in Thai)

Dummee, V., Tanhan, P., Kruatrachue, M., Damrongphol, P., and Pokethitiyook, P. (2015). Histopathological changes in snail, *Pomacea canaliculata*, exposed to sub–lethal copper sulfate concentrations. **Ecotoxicology and Environmental Safety** 122: 290–295.

Erhan, U., Elif, I. C., Mehmet, Z. Y., Birgul O., and Ozkan U. (2005). Histopathological effects in tissues of snail *Lymnaea stagnalis* (Gastropod, Pulmonata) exposed to sublethal concentration of Thiodan and recovery after exposure. **Journal of Applied Toxicology.** 25: 459–463.

Federation, W. E., and APH Association. (2005). Standard methods for the examination of water and wastewater. **American Public Health Association (APHA)**. Washington, DC, USA.

Jantataeme, S., Kruatrachue, M., Kaewsawangup., S., Chitramwong, Y., Sretarugsa, P., and Upathum, E. S. (1996). Acute toxicity and bioaccumulation of lead in the snail, *Filopaludina m. martenis*. **Journal of science Asia Thailand** 22: 237–247.

Kaewsawangsup, S. (1996). **Acute Toxicity Bioaccumulation and Effects of Lead on the Histology of Snails, *Filopaludina (Siamopalldina) M. Martensi* (Frauenfeldt)**. Master Thesis in Science. Bangkok: Mahidol University. (in Thai)

Karakaş, S. B., and Otludil, B. (2020). Accumulation and histopathological effects of cadmium on the great pond snail *Lymnaea stagnalis* Linnaeus, 1758 (Gastropoda: Pulmonata). **Environmental Toxicology and Pharmacology** 78: Article 103403.

Mooltongnoi, C., and Alunlertarele, J. (2008). Water quality and contamination of heavy metal in surface water of Huai Mae Tao, Tak Province. **Environment and Natural Resources Journal** 6(2): 103–112. (in Thai)

Neeratanaphan, L. (2011). Effects of heavy metals on mollusk. **KKU Science Journal** 39: 375–386. (in Thai)

Songprasert, N., Sukaew, T., Kusreesakul, K., Swaddiwudhipong, W., Padungtod, C., and Bundhamcharoen, K. (2015). Additional burden of diseases associated with cadmium exposure: A case study of cadmium contaminated rice fields in Mae Sot District, Tak Province, Thailand. **International Journal of Environmental Research and Public Health** 12(8): 9199–9217.

Thamjedsada, T., and Chaiwiwatworakul, P. (2012). Evaluation of cadmium contamination in the Mae Tao Creek sediment. **International Conference on Sustainable Environmental Technologies (ICSET)** (pp. 501–511). Bangkok, Thailand.

Weeraprapan, P., Phalaraksh, C., Chantara, S., and Kawashima, M. (2015). Water quality monitoring and cadmium contamination in the sediments of Mae Tao Stream, Mae Sot District, Tak Province, Thailand. **International Journal of Environmental Science and Development** 6(2): 142–146.