

การสะสมโลหะหนักในน้ำ ดินตะกอน และปลา ในลำน้ำมูล

Bioaccumulation of heavy metals in water, sediment and fish from Mun River

ธวัชชัย ธาณี^{1,2} พนิดา พันธุ์สมบัติ¹ อรุณรัตน์ จวีรราช^{2,3} รุ่งลาวัลย์ สูดมุล^{2,3} และสำเนาวิ เสาวกุล^{4,*}

Tawatchai Tanee^{1,2}, Panida Punsombut¹, Arunrat Chaveerach^{2,3}, Runglawan Sudmoon^{2,3}

and Samnao Saowakoon^{4,*}

¹คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

²กลุ่มวิจัยพันธุศาสตร์และพิษวิทยาสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยขอนแก่น

³ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

⁴คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์

¹Faculty of Environment and Resource Studies, Mahasarakham University

²Genetics and Environmental Toxicology (GET) Research Group, Khon Kaen University

³Department of Biology, Faculty of Science, Khon Kaen University

⁴Faculty of Agriculture and Technology, Rajamangala University of Technology Isan, Surin campus

*Corresponding author: saowakoon@gmail.com

บทคัดย่อ

การปนเปื้อนของโลหะหนักในลำน้ำและสิ่งมีชีวิตในน้ำเป็นหนึ่งในปัญหาที่สำคัญซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพคน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการสะสมโลหะหนักในตะกอนดิน น้ำ และปลาในลำน้ำมูล โดยเก็บตัวอย่างตะกอนดิน น้ำ และปลาในลำน้ำมูล วิเคราะห์ปริมาณ สังกะสี ทองแดง แคดเมียม และตะกั่ว และคำนวณค่าการสะสมโลหะหนัก (bioconcentration factor, BCF) พบว่าสังกะสี ทองแดง แคดเมียม และตะกั่ว ในตะกอนดินและน้ำมีปริมาณ 12.78-115.30, 8.12-25.63, 8.79-9.08 และ 47.38-111.82 mg/kg ตามลำดับ และ 13.39-16.35, 8.00-8.36, 4.35-6.59 และ 27.38-31.80 mg/L ตามลำดับ ปริมาณโลหะหนักทุกชนิดที่ตรวจพบในน้ำมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐาน ในขณะที่ในตะกอนดินมีเพียงปริมาณสังกะสีที่มีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐาน ในปลา 9 ชนิด มีปริมาณโลหะหนักในแต่ละอวัยวะเรียงลำดับจากมากไปน้อยคือ ทางเดินอาหาร > เหงือก > เนื้อ และมีค่า BCF เรียงจากมากไปน้อยคือ สังกะสี > ตะกั่ว > แคดเมียม > ทองแดง นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณแคดเมียมและตะกั่วในเนื้อปลามีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานถึง >30 และ >100 เท่า

คำสำคัญ: การสะสมของโลหะหนัก ตะกอนดิน ปลา BCF ลำน้ำมูล

Abstract

Contamination of heavy metals in river and organisms is one of the main problems that may affect on human health. This research aimed to study accumulation of heavy metals in soil sediment, water, and fish species in the Mun River. The soil sediment and water samples from three stations and fish samples were collected along the river. Concentrations of heavy metals including zinc (Zn), copper (Cu), cadmium (Cd), lead (Pb) were analyzed using atomic absorption spectroscopy (AAS) and these data were used for calculation of bioconcentration factor (BCF). The

concentrations of Zn, Cu, Cd, and Pb in soil sediment and water samples are 12.78-115.30, 8.12-25.63, 8.79-9.08 and 47.38-111.82 mg/kg, respectively and 13.39-16.35, 8.00-8.36, 4.35-6.59 and 27.38-31.80 mg/L, respectively. The concentrations of Zn in soil sediment and all heavy metals detected in the water samples exceed the standard levels. The accumulation of heavy metals in different fish organs (muscle, gill, stomach-intestine) of nine fish species was found in diminishing order of stomach-intestine > gill > muscle. The BCF values of the heavy metals were found in diminishing order of Zn > Pb > Cd > Cu. Unfortunately, concentrations of Cd and Pb detected in fish were >30 and >100 times higher than the standard levels.

Keywords: heavy metal accumulation, soil sediment, fish, BCF, Mun River

คำนำ

น้ำเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่สำคัญอย่างยิ่งต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์และสิ่งมีชีวิตอื่นๆ รวมทั้งจำเป็นสำหรับการพัฒนาเศรษฐกิจขั้นพื้นฐาน ตลอดจนการระบายของเสียจากชุมชน แหล่งน้ำจึงเป็นตัวที่รองรับมลพิษที่เกิดจากกิจกรรมที่แตกต่างกัน ก่อให้เกิดผลกระทบที่แตกต่างกัน ปัญหามลภาวะทางน้ำในปัจจุบันคือการมีทั้งสารประกอบอินทรีย์และอนินทรีย์รวมถึงโลหะหนักในปริมาณที่มากทำให้สิ่งมีชีวิตไม่สามารถปรับเปลี่ยนการดำรงชีวิตหรือใช้สารเคมีที่มีในแหล่งน้ำได้ทัน จึงมีการตกค้างและสะสมในน้ำ โดยเฉพาะโลหะหนักซึ่งไม่สามารถสลายตัวได้ด้วยกระบวนการในธรรมชาติ จึงตกตะกอนสะสมอยู่ทั้งในดิน ตะกอนที่อยู่ในน้ำ รวมถึงพืชน้ำและสัตว์น้ำ (Keepax *et al.*, 2011; Tanee *et al.*, 2013)

ปัญหาการปนเปื้อนของโลหะหนักในแม่น้ำกลายเป็นปัญหาที่สำคัญในตลอดช่วงเวลาที่ผ่านมามา เพราะไม่เพียงแต่จะมีปัญหาต่อการใช้น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค แต่ยังคงกังวลทั้งเรื่องความเป็นพิษ การไม่ย่อยสลาย รวมถึงการสะสมในสิ่งมีชีวิตและการสะสมในระบบห่วงโซ่อาหาร (Terra *et al.*, 2008) จึงอาจทำให้เกิดปัญหาต่อสุขภาพของผู้ที่บริโภคสัตว์น้ำเป็นอาหารด้วย โดยปลาเป็นอาหารที่สำคัญต่อผู้บริโภคและยังเป็นดัชนีชีวภาพที่ใช้บอกการปนเปื้อนของสารมลพิษได้อีกด้วย (Rashed, 2001) มีงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการสะสมโลหะหนักในปลามากมายทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ ที่รายงานการสะสมของโลหะหนักเช่น แคดเมียม โครเมียม ตะกั่ว สังกะสี และทองแดง เป็นต้น ในอวัยวะส่วนต่างๆ ของปลา ว่ามีการสะสมของโลหะหนักที่แตกต่างกันในแต่ละอวัยวะของปลา (Rashed, 2001; Chi *et al.*, 2007; Terra *et al.*, 2008; Tanee *et al.*, 2013) โลหะหนักที่ปนเปื้อนในน้ำและตะกอนดินสามารถเข้าสู่ปลาและส่งต่อไปยังคนได้โดยตรงจากการบริโภคปลา ก่อให้เกิดโทษหรือความเป็นพิษต่อร่างกายหลายด้าน เช่น เป็นสาเหตุการเกิดมะเร็ง ทำลายระบบของกระดูกสันหลัง ทำให้ความดันโลหิตสูง ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์และทำให้ดีเอ็นเอแตกหัก (Manahan, 2003) ดังนั้นจึงควรมีการเร่งศึกษาเกี่ยวกับปัญหาการปนเปื้อนของโลหะหนักเพื่อเผยแพร่ข้อมูลให้ประชาชนได้รับทราบและเฝ้าระวังความเป็นพิษของโลหะหนัก

แม่น้ำมูลเป็นแม่น้ำสายหลักที่สำคัญของภาคอีสานที่ใช้ในการอุปโภครวมทั้งเป็นแหล่งรองรับน้ำทิ้งจากชุมชน โรงงานอุตสาหกรรม จากการทำการเกษตรที่มีการใช้สารเคมี รวมถึงน้ำท่วมและตะกอนดินจาก

แหล่งอื่นที่มีการปนเปื้อนสารเคมี น้ำในแม่น้ำจึงมีโอกาสปนเปื้อนโลหะหนัก รวมทั้งมีการสะสมของโลหะหนักในสัตว์น้ำด้วย ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาปริมาณการสะสมของโลหะหนัก สังกะสี ทองแดง แคดเมียม และตะกั่วในน้ำ ตะกอนดิน และในปลา รวมถึงในอวัยวะต่างๆ ของปลา ได้แก่ เนื้อ ทางเดินอาหาร และเหงือก ทั้งนี้เพื่อประโยชน์ต่อประชาชนทั้งในด้านสุขภาพอนามัยและเศรษฐกิจ รวมทั้งเพื่อหาแนวทางสำหรับการวางแผนป้องกัน แก้ไขปัญหา หรือการจัดการแหล่งน้ำต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

1. พื้นที่ศึกษาและจุดเก็บตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างตะกอนดิน น้ำ และปลา ในจุดเก็บตัวอย่างตามที่กำหนด จำนวน 3 สถานี (Table 1 and Figure 1) ตัวอย่างทั้งหมดจะถูกนำไปศึกษาปริมาณการสะสมโลหะหนัก ได้แก่ สังกะสี ทองแดง แคดเมียม และตะกั่ว

2. การเก็บตัวอย่าง

2.1) การเก็บตัวอย่างน้ำ

เก็บตัวอย่างน้ำที่บริเวณกึ่งกลางของแม่น้ำโดยใช้เครื่องเก็บตัวอย่างน้ำหรือขวดเก็บตัวอย่างน้ำ (โพลีเอทิลีน) ที่ล้างด้วยน้ำตัวอย่างแล้ว 2-3 ครั้ง จุ่มลงไปใต้ผิวน้ำในระดับความลึก 50 ซม. อย่างรวดเร็ว เก็บน้ำให้เต็มจนไม่มีช่องว่างภายในภาชนะและปิดฝาให้แน่นโดยทันที เพื่อป้องกันน้ำตัวอย่างถูกอากาศออกซิไดซ์ ตามวิธีการของ Davies *et al.* (2006)

2.2) การเก็บตัวอย่างตะกอนดิน

เก็บตัวอย่างดินตะกอนที่บริเวณกึ่งกลางและริมขอบของแม่น้ำ โดยใช้ Ekman's grab แล้วนำมาผสมในอัตราส่วน 1 : 1 ให้เข้ากัน เก็บตัวอย่างดินประมาณ 100 กรัม ใส่ถุงพลาสติกรัดปากให้แน่น นำไปแช่เย็นในถังน้ำแข็ง เพื่อนำไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ต่อไป

2.3) การเก็บตัวอย่างปลา

สุ่มตัวอย่างปลาจากทั้ง 3 สถานี ชนิดละ 3-5 ตัว ได้แก่ ได้แก่ กระจับปี่ (*Trichogaster trichopterus*) ช่อน (*Channa striata*) ชะโด (*C. micropeltes*) ซ่า (*Labiobarbus siamensis*) ตะเพียนขาว (*Barbonymus gonionotus*) สร้อยนกเขา (*Osteochilus hasselti*) สร้อยปีแดง (*Henicorhynchus ornatipinnis*) หมอช้างเหี้ยบ (*Pristolepis fasciatus*) และหมอไทย (*Anabas testudineus*) นำปลาที่ได้มาล้างให้สะอาดแล้วแช่ในน้ำแข็ง และนำมาเก็บที่ตู้ 4°C ที่ห้องปฏิบัติการคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ เพื่อรอวิเคราะห์ต่อไป

Table 1 List of the three stations studied in the Mun River.

station	reference site	Location
1	Narmluek community, Satuek district, Buri Ram province	15° 17'53"N 103° 17'15"E
2	Ban Kutchap, Thatum district, Surin province	15° 21'11"N 103° 44'36"E
3	Mun river bridge, Rasi Salai district, Si Sa Ket province	15° 20'24"N 104° 9'1"E

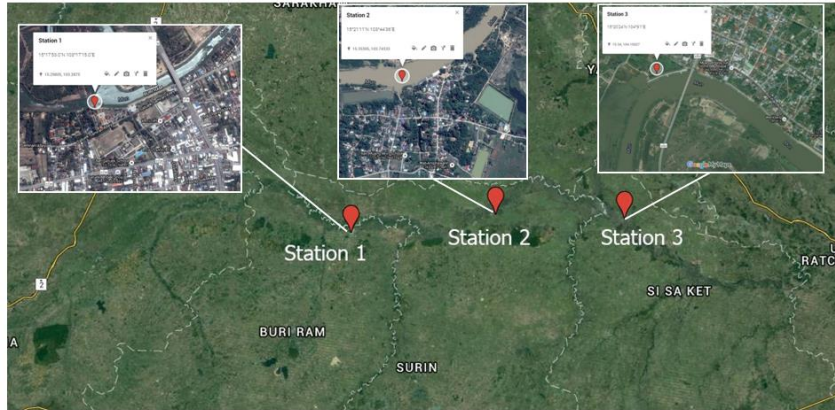


Figure 1 Location of the three stations studied in the Mun River.

3. การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก

3.1) การเตรียมตัวอย่างน้ำ

ใช้วิธีการตาม Tanee *et al.* (2013) ดังนี้ เขย่าน้ำตัวอย่างให้เข้ากัน เเทลงในปิ๊กเกอร์ 50 mL เติม ส่วนผสมกรด (conc. HNO_3 : HClO_4 , 3:1) 12 mL ย่อยตัวอย่างด้วยความร้อนต่ำๆ รอจนน้ำเกือบแห้งและได้ สารละลายใส จึงทิ้งไว้ให้เย็นและนำไปกรองด้วยกระดาษกรอง (Whatman No. 4) แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 mL ด้วยน้ำปราศจากอ็อกซอน (deionized water)

3.2) การเตรียมตะกอนดิน

ใช้วิธีการตาม Pyle *et al.* (2005) โดยอบตะกอนดินที่อุณหภูมิ $103-105^\circ\text{C}$ ใน hot air oven เป็นเวลา 48 h แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 mm ซึ่งมา 1 g ใส่ลงในปิ๊กเกอร์ เติมส่วนผสมกรด 12 mL ย่อยตัวอย่างที่ 100°C เป็นเวลา 30 min ทิ้งให้เย็นและกรองด้วยกระดาษกรอง แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 mL ด้วยน้ำ ปราศจากอ็อกซอน

3.3) การเตรียมตัวอย่างปลา

ล้างตัวอย่างปลาให้สะอาดและผ่าแยกส่วนอวัยวะ ได้แก่ ทางเดินอาหาร เหงือก และเนื้อ อบตัวอย่าง แต่ละส่วนที่อุณหภูมิ $103-105^\circ\text{C}$ เป็นเวลา 48 h ซึ่งตัวอย่างที่อบแล้ว 1 g ใส่ในปิ๊กเกอร์ เติมส่วนผสมกรด 12 mL ย่อยตัวอย่างที่ความร้อนต่ำๆ กระทั่งได้สารละลายใสจึงทิ้งไว้ให้เย็นและกรองด้วยกระดาษกรอง แล้วปรับ ปริมาตรเป็น 100 mL ด้วยน้ำปราศจากอ็อกซอน

3.4) การวัดปริมาณโลหะหนัก

วัดปริมาณโลหะหนัก ได้แก่ สังกะสี (Zn) ทองแดง (Cu) แคดเมียม (Cd) และตะกั่ว (Pb) ในตัวอย่าง น้ำ ตะกอนดิน และอวัยวะของปลาที่เตรียมไว้ ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) รุ่น AA 6200 (Shimadzu, Japan)

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำ ตะกอนดิน และ ปลา และทดสอบความแตกต่างของปริมาณการสะสมของโลหะหนักด้วยวิธี One-Way ANOVA ใน SPSS for Windows โดยกำหนดให้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ $p < 0.05$ และคำนวณค่าการสะสมทางชีวภาพ

(Bioconcentration Factor, BCF) ซึ่งเป็นค่าความเข้มข้นของโลหะหนักในตัวอย่าง (mg/kg) ต่อความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำ (mg/l) ตามวิธีของ Crookes and Brooke (2011)

ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล

1. ปริมาณโลหะหนักในตะกอนดินและน้ำจากแม่น้ำมูล

ปริมาณสังกะสี ทองแดง แคดเมียม และตะกั่ว ในตัวอย่างตะกอนดินและน้ำจากทั้ง 3 สถานี ได้ผลดังแสดงใน Table 2 และ Table 3 โดยโลหะหนักแต่ละชนิดในตะกอนดินมีปริมาณ 12.78-115.30, 8.12-25.63, 8.79-9.08 และ 47.38-111.82 mg/kg ตามลำดับ ซึ่งมีค่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐาน (Ministry of Natural Resources and Environment, Thailand, 2004) ส่วนในน้ำมีปริมาณ 13.39-16.35, 8.00-8.36, 4.35-6.59 และ 27.38-31.80 mg/L ตามลำดับ ปริมาณโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดที่พบในน้ำมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำผิวดิน (Ministry of Natural Resources and Environment, Thailand, 1994) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในดินแต่ละสถานีพบว่าทุกสถานีมีปริมาณทองแดงและตะกั่วแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ส่วนในน้ำพบเพียงแคดเมียมที่มีปริมาณแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในทุกสถานี ($p > 0.05$) ซึ่งความแตกต่างของปริมาณโลหะหนักในแต่ละสถานีนั้นอาจมาจากหลายปัจจัย เช่น สมบัติดิน การปล่อยน้ำเสียจากชุมชน ของเสียจากกิจกรรมต่างๆในชุมชนเมือง และการทำเกษตรกรรมที่มีการใช้สารเคมีและปุ๋ยเคมีซึ่งมีโลหะหนักปนเปื้อน (Modaihsh *et al.*, 2004; Keepax *et al.*, 2011) โลหะหนักเป็นสารที่คงตัวคือไม่สลายตัวด้วยกระบวนการในธรรมชาติ การสะสมของโลหะหนักปนเปื้อนสู่แหล่งน้ำและตะกอนดินส่งผลให้สิ่งมีชีวิตหน้าดินและสัตว์ที่หากินบริเวณหน้าดินในแหล่งน้ำมีโอกาสได้รับโลหะหนักไปสะสมอยู่ในร่างกาย และสามารถถ่ายทอดไปตามห่วงโซ่อาหาร มาถึงมนุษย์ซึ่งเป็นผู้บริโภคลำดับสุดท้าย ก่อให้เกิดโทษหรือความเป็นพิษต่อร่างกายหลายๆ ด้าน เช่น เป็นสาเหตุการเกิดมะเร็ง ทำลายระบบของกระดูกสันหลัง ทำให้ความดันโลหิตสูง ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์และทำให้ดีเอ็นเอเสียหาย (Manahan, 2003)

Table 2 Concentrations of Zn, Cu, Cd and Pb in the sediment and water samples from the three stations on the Mun River.

St	Concentration (mean±SD, mg/kg for sediment and mg/L for water)							
	Zn		Cu		Cd		Pb	
	sediment	water	sediment	water	sediment	water	sediment	water
1	14.32±0.68 ^a	13.39±2.01 ^a	8.86±0.25 ^a	8.00±0.14 ^a	9.08±0.12 ^a	6.59±0.75 ^a	54.18±1.23 ^a	31.80±2.08 ^a
2	12.78±1.15 ^a	16.35±2.69 ^a	8.12±0.13 ^b	8.31±0.11 ^b	8.79±0.03 ^a	5.49±0.22 ^b	47.38±0.57 ^b	27.38±0.86 ^b
3	115.30±1.67 ^b	15.81±3.45 ^a	25.63±0.51 ^c	8.36±0.15 ^b	8.92±0.55 ^a	4.35±0.19 ^c	111.82±2.89 ^c	27.91±0.94 ^b
A	ND		ND		37		400	
B		1.0		0.1		0.005-0.05		0.05

A: Standard level on soil quality (Ministry of Natural Resources and Environment, Thailand, 2004), ND = no data

B: Standard level on water surface quality (Ministry of Natural Resources and Environment, Thailand, 1994)

^{a,b,c}Show differences among seasons ($p < 0.05$)

2. ปริมาณโลหะหนักและ BCF ในปลาแต่ละชนิดจากแต่ละสถานี

ในเนื้อ เหงือก และทางเดินอาหาร ของตัวอย่างปลา 9 ชนิด จากแม่น้ำมูล ได้แก่ กระจับปี่ ช่อน ชะโด ซ่า ตะเพียนขาว สร้อยนกเขา สร้อยปีแดง หมอช้างเหยียบ และหมอไทย มีปริมาณสังกะสี ทองแดง แคดเมียม และตะกั่วดังแสดงใน Table 3 โดยมีปริมาณ 40.28-464.30, 9.40-68.48, 3.87-55.50 และ 70.89-839.27 mg/kg ตามลำดับ

ปริมาณสังกะสีที่สะสมในอวัยวะต่างๆ ของปลา ในเนื้อมีค่า 10.34 (*T. trichopterus*, station 1) – 131.48 mg/kg (*T. trichopterus*, station 3) ในเหงือกมีค่า 18.42 (*O. hasselti*, station 1) – 265.36 mg/kg (*A. testudineus*, station 2) และในทางเดินอาหารมีค่า 8.91 (*B. gonionotus*, station 1) – 151.52 mg/kg (*L. siamensis*, station 2) เรียงลำดับปริมาณการสะสมในอวัยวะต่างๆ จากมากไปน้อย ได้ดังนี้คือ เหงือก > ทางเดินอาหาร > เนื้อ โดยปริมาณสังกะสีในเหงือกมีค่าแตกต่างจากทางเดินอาหารและเนื้ออย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

ปริมาณทองแดงในเนื้อมีค่า 2.71 (*H. ornatipinnis*, station 2) – 10.14 mg/kg (*T. trichopterus*, station 3) ในเหงือกมีค่า 0.68 (*L. siamensis*, station 2) – 36.57 mg/kg (*T. trichopterus*, station 3) และในทางเดินอาหารมีค่า 0.63 (*P. fasciatus*, station 2) – 21.77 mg/kg (*T. trichopterus*, station 3) เรียงลำดับปริมาณการสะสมในอวัยวะต่างๆ จากมากไปน้อย ได้ดังนี้คือ เหงือก > ทางเดินอาหาร > เนื้อ โดยปริมาณทองแดงในทั้ง 3 อวัยวะ มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ปริมาณแคดเมียมในเนื้อมีค่า 1.87 (*B. gonionotus*, station 2) – 12.13 mg/kg (*H. ornatipinnis*, station 2) ในเหงือกมีค่า 0.58 (*P. fasciatus*, สถานีที่ 2) – 34.50 mg/kg (*T. trichopterus*, station 3) และในทางเดินอาหารมีค่า 1.28 (*P. fasciatus*, station 2) – 19.88 mg/kg (*C. micropeltes*, station 2) เรียงลำดับปริมาณการสะสมในอวัยวะต่างๆ จากมากไปน้อย ได้ดังนี้คือ เหงือก > ทางเดินอาหาร > เนื้อ โดยปริมาณแคดเมียมในเหงือกมีค่าแตกต่างจากทางเดินอาหารและเนื้ออย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

ปริมาณตะกั่วในเนื้อมีค่า 13.90 (*L. siamensis*, station 2) – 121.20 mg/kg (*T. trichopterus*, station 3) ในเหงือกมีค่า 16.45 (*L. siamensis*, station 2) – 505.86 mg/kg (*T. trichopterus*, station 3) และในทางเดินอาหารมีค่า 19.10 (*C. micropeltes*, station 2) – 212.40 mg/kg (*T. trichopterus*, station 3) เรียงลำดับปริมาณการสะสมในอวัยวะต่างๆ จากมากไปน้อย ได้ดังนี้คือ เหงือก > ทางเดินอาหาร > เนื้อ โดยปริมาณตะกั่วในเหงือกมีค่าแตกต่างจากทางเดินอาหารและเนื้ออย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

ปลานอกจากจะถูกนำมาบริโภคเป็นอาหารที่ได้รับความนิยมอย่างมากแล้ว ยังเป็นดัชนีชี้วัดภาพในแหล่งน้ำได้เป็นอย่างดี (Rashed, 2001) ปลาที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำธรรมชาติเป็นสิ่งมีชีวิตกลุ่มแรกๆ ที่จะได้รับผลกระทบจากการปนเปื้อนของสารพิษโดยเฉพาะอย่างยิ่งโลหะหนัก เมื่อแหล่งน้ำมีการปนเปื้อนของโลหะหนัก จากนั้นก็จะมีสารสะสมโดยตรงในปลา แล้วสะสมต่อในคนผ่านการบริโภคปลาเป็นอาหาร ทั้งปลากินพืชและปลากินสัตว์ที่พบในแหล่งน้ำมีพฤติกรรมการกินอาหารที่แตกต่างกันอาจมีการสะสมโลหะหนักที่ต่างกันได้ มีงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการสะสมโลหะหนักในปลามากมายทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ (Rashed, 2001; Chi *et al.*, 2007; Terra *et al.*, 2008; Tanee *et al.*, 2013)

จากการเปรียบเทียบปริมาณการสะสมโลหะหนักในปลาที่พบในแม่น้ำมูล พบว่า ปลากระดี่หม้อมีปริมาณการสะสมโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด ในทุกอวัยวะ มีค่าการสะสมสูงสุดที่สุด การสะสมโลหะหนักที่แตกต่างกันในปลาแต่ละชนิดอาจขึ้นกับปัจจัยหลายอย่างเช่นประเภทของปลา พฤติกรรมการกิน ขนาด อายุ และเพศ (Dural *et al.*, 2007; Yousafzai *et al.*, 2010) นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการสะสมโลหะหนักในอวัยวะต่างๆ ของปลาพบว่าเนื้ออวัยวะของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด ต่ำสุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในขณะที่ทางเดินอาหารมีปริมาณการสะสมโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด สูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เนื่องจากทางเดินอาหารเป็นอวัยวะแหล่งหนึ่งรองจากตับที่ทำหน้าที่กำจัดของเสียออกจากร่างกายของสิ่งมีชีวิต โดยมีเอนไซม์ที่ทำหน้าที่กำจัดสารมลพิษต่างๆ จำนวนมากและส่งออกจากร่างกายทางอุจจาระและปัสสาวะต่อไป ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาที่พบว่าทางเดินอาหารมีการสะสมโลหะหนักมากกว่าเหงือกและเนื้อ โดยพบว่าเนื้อปลาคือส่วนที่มีการสะสมโลหะหนักทุกชนิดต่ำสุด (Tanee *et al.*, 2013) สิ่งที่น่ากังวลคือจากงานวิจัยครั้งนี้พบปริมาณการสะสมของแคดเมียมและตะกั่วในเนื้อปลาซึ่งเป็นส่วนที่คนบริโภค และอวัยวะต่างๆ ของปลา สูงเกินเกณฑ์มาตรฐานกำหนดของกระทรวงสาธารณสุข (Thailand Ministry of Public Health, 1986) และของสหภาพยุโรป (Official Journal of the European Union, 2006) ที่กำหนดให้มีปริมาณโลหะหนักในเนื้อปลาไม่เกิน 0.05 mg/kg (แคดเมียม) และ 0.2-0.3 mg/kg (ตะกั่ว) ปริมาณโลหะหนักที่มีการสะสมในเนื้อปลามากอาจส่งผลกระทบต่อระบบห่วงโซ่อาหารและอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้บริโภคอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ถึงแม้ว่าในระบบร่างกายของมนุษย์จะมีกระบวนการที่สามารถกำจัดสารมลพิษเหล่านี้จากร่างกายได้ก็ตาม หากได้รับอย่างต่อเนื่องก็อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ได้เช่นกัน ซึ่งโลหะหนักมีความเป็นพิษต่อตับ ไต และสมอง โดยไปขัดขวางการทำงานของเอนไซม์ในกระบวนการเมตาบอลิซึม และเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการกลายพันธุ์ และมะเร็ง เป็นต้น (Manahan, 1992) อย่างไรก็ตามยังไม่มีข้อมูลหรืองานวิจัยที่ศึกษาโดยตรงถึงผลกระทบของโลหะหนักที่สะสมในปลาต่อผู้บริโภคปลา รวมถึงแหล่งที่มาของโลหะหนักในแม่น้ำมูล ซึ่งอาจมีการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป

ผลการวิเคราะห์ค่า BCF ในเนื้อปลาซึ่งเป็นค่าที่ใช้ในการอธิบายการสะสมของสารเคมีในสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำที่มีการปนเปื้อนสารเคมี โดยเป็นอัตราความเข้มข้นของสารเคมีในสิ่งมีชีวิตต่อความเข้มข้นของสารเคมีในน้ำ เกิดจากการที่สิ่งมีชีวิตได้รับสารเคมีที่ปนเปื้อนในน้ำผ่านทางเหงือกแล้วมีการสะสมในร่างกายหรือเนื้อของปลา จากการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้พบว่าค่า BCF ของสังกะสี ทองแดง แคดเมียม และตะกั่วมีค่าตั้งแต่ 0.70 (*B. gonionotus*, station 1) ถึง 8.31 (*T. trichopterus*, station 3), 0.33 (*H. ornatipinnis*, station 2) ถึง 1.23 (*B. gonionotus*, station 1), 0.34 (*O. hasselti*, station 2) ถึง 1.79 (*T. trichopterus*, station 3) และ 0.51 (*L. siamensis*, station 2) ถึง 4.34 (*T. trichopterus*, station 3) ตามลำดับดัง Table 3 ค่า BCF ของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด สามารถเรียงลำดับจากมากไปหาน้อยได้ดังนี้ สังกะสี > ตะกั่ว > แคดเมียม > ทองแดง ค่า BCF สูงแสดงให้เห็นว่าปลาสามารถรับโลหะหนักจากสิ่งแวดล้อมได้ในอัตราที่มาก โดยอัตราการสะสมมีความแตกต่างกันตามชนิดและพฤติกรรมการกินอาหารของปลาชนิดนั้น และอาจขึ้นกับขนาดของปลาด้วย อย่างไรก็ตามยังไม่มีรายงานเกณฑ์มาตรฐานที่แน่ชัดของค่า BCF จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้นอาจเป็นข้อมูลพื้นฐานในการเลือกและระมัดระวังเมื่อบริโภคปลาต่อไป

Table 3 Concentrations of Zn, Cu, Cd and Pb in different organs of fish species

St	Heavy metal	Fish species	Concentration in each organ (mg/kg)*				BCF of muscle
			muscle	gill	intestine	total	
1	Zn	<i>T. trichopterus</i>	10.34±0.33	27.46±0.00	18.74±0.00	56.53±8.59	0.77
		<i>B. gonionotus</i>	9.35±0.94	22.53±1.20	8.91±0.58	40.79±7.74	0.70
		<i>O. hasselti</i>	11.22±2.37	18.42±0.00	10.65±1.43	40.28±4.33	0.84
2		<i>C. striata</i>	47.11±0.49	102.22±0.78	78.31±8.55	227.64±27.64	2.88
		<i>C. micropeltes</i>	45.00±2.60	75.80±0.00	88.73±2.59	209.54±22.46	2.75
		<i>L. siamensis</i>	73.10±2.57	239.68±0.00	151.52±1.95	464.30±83.34	4.47
		<i>B. gonionotus</i>	91.10±8.21	94.19±0.00	85.02±16.51	270.31±4.66	5.57
		<i>O. hasselti</i>	83.57±4.40	218.69±0.00	96.07±3.79	398.32±74.66	5.11
		<i>H. ormatipinnis</i>	98.01±1.49	172.80±0.00	22.35±0.60	293.15±75.22	5.99
		<i>P. fasciatus</i>	95.88±1.08	188.12±0.00	74.67±0.00	358.67±60.32	5.86
		<i>A. testudineus</i>	90.57±8.36	265.36±0.00	77.78±0.00	433.72±104.80	5.54
		3		<i>T. trichopterus</i>	131.48±0.00	145.79±0.00	108.97±0.00
<i>L. siamensis</i>	62.06±2.04			159.77±0.00	74.93±5.37	296.76±53.08	3.92
<i>B. gonionotus</i>	45.64±3.63			122.15±0.13	43.01±5.80	210.80±44.95	2.88
<i>O. hasselti</i>	52.49±0.33			146.94±0.00	52.01±0.76	251.44±54.67	3.32
1	Cu	<i>T. trichopterus</i>	6.05±0.16	16.65±0.00	14.28±0.00	36.98±5.56	0.76
		<i>B. gonionotus</i>	9.87±0.22	14.87±0.69	14.61±0.29	39.35±2.82	1.23
		<i>O. hasselti</i>	6.28±0.17	11.28±0.00	10.97±0.24	28.53±2.80	0.79
2		<i>C. striata</i>	3.05±0.34	2.82±0.99	4.58±0.44	10.45±0.95	0.37
		<i>C. micropeltes</i>	4.10±0.78	2.16±0.00	4.68±0.39	10.94±1.32	0.49
		<i>L. siamensis</i>	8.81±1.66	0.68±0.00	17.33±0.33	26.81±8.32	1.06
		<i>B. gonionotus</i>	9.15±0.31	3.75±0.00	17.40±0.63	30.29±6.88	1.10
		<i>O. hasselti</i>	3.52±0.11	2.69±0.00	7.25±0.82	13.46±2.43	0.42
		<i>H. ormatipinnis</i>	2.71±0.22	2.18±0.00	14.41±0.13	19.30±6.91	0.33
		<i>P. fasciatus</i>	5.01±0.08	3.76±0.00	0.63±0.00	9.40±2.26	0.60
		<i>A. testudineus</i>	7.36±0.07	8.73±0.00	4.78±0.00	20.87±2.00	0.89
		3		<i>T. trichopterus</i>	10.14±0.00	36.57±0.00	21.77±0.00
<i>L. siamensis</i>	6.61±0.28			21.70±0.00	16.84±0.50	45.15±7.70	0.79
<i>B. gonionotus</i>	6.20±0.09			13.74±0.99	11.50±1.74	31.44±3.87	0.74
<i>O. hasselti</i>	5.57±0.17			14.62±0.00	10.20±0.19	30.39±4.53	0.67
1	Cd ^Δ	<i>T. trichopterus</i>	5.25±0.01	13.30±0.00	8.90±0.00	27.44±4.03	0.80
		<i>B. gonionotus</i>	6.06±0.76	10.75±1.03	5.36±0.65	22.17±2.93	0.92
		<i>O. hasselti</i>	5.13±0.13	8.28±0.00	5.26±0.05	18.67±1.78	0.78
2		<i>C. striata</i>	5.85±1.27	8.90±1.28	6.65±0.02	21.39±1.58	1.07
		<i>C. micropeltes</i>	7.06±4.06	6.42±0.00	19.88±10.02	33.37±7.59	1.29
		<i>L. siamensis</i>	3.36±0.39	14.84±0.00	6.73±0.26	24.92±5.90	0.61
		<i>B. gonionotus</i>	1.87±1.60	nd.	8.92±0.00	10.79±4.99	0.34
		<i>O. hasselti</i>	1.89±0.36	7.23±0.00	6.91±3.61	16.03±2.99	0.34

		<i>H. ormatipinnis</i>	12.13±6.05	18.93±0.00	1.87±0.78	32.93±8.59	2.21
		<i>P. fasciatus</i>	2.01±0.79	0.58±0.00	1.28±1.18	3.87±0.72	0.37
		<i>A. testudineus</i>	8.37±0.70	31.64±0.00	nd.	40.01±16.39	1.52
3		<i>T. trichopterus</i>	7.80±0.00	34.50±0.00	13.20±0.00	55.50±14.11	1.79
		<i>L. siamensis</i>	4.73±0.45	19.47±0.00	8.76±0.20	32.96±7.61	1.09
		<i>B. gonionotus</i>	4.94±0.37	11.02±0.23	4.39±0.58	20.35±3.68	1.14
		<i>O. hasselti</i>	4.99±0.37	11.52±0.00	4.98±0.24	21.49±3.77	1.15
1	Pb ^B	<i>T. trichopterus</i>	78.43±2.23	216.14±0.00	169.36±0.00	463.93±70.02	2.47
		<i>B. gonionotus</i>	78.29±0.96	166.20±1.30	86.14±2.35	330.63±48.65	2.46
		<i>O. hasselti</i>	78.25±0.94	127.64±0.00	81.86±1.65	287.75±27.53	2.46
2		<i>C. striata</i>	18.52±1.55	43.27±0.61	23.76±3.60	85.55±13.04	0.68
		<i>C. micropeltes</i>	18.05±1.35	35.85±0.00	19.10±1.60	73.00±9.99	0.66
		<i>L. siamensis</i>	13.90±1.41	16.45±0.00	40.54±5.88	70.89±14.70	0.51
		<i>B. gonionotus</i>	25.07±2.15	27.69±0.00	25.23±2.44	77.99±1.47	0.92
		<i>O. hasselti</i>	21.52±1.13	59.66±0.00	24.71±0.98	105.89±21.16	0.79
		<i>H. ormatipinnis</i>	28.20±1.76	54.07±0.00	25.87±0.40	108.14±15.65	1.03
		<i>P. fasciatus</i>	29.65±2.39	66.67±0.00	47.04±0.00	143.48±18.58	1.08
		<i>A. testudineus</i>	32.85±1.14	152.82±0.00	50.53±0.00	236.20±64.77	1.20
3		<i>T. trichopterus</i>	121.20±0.00	505.86±0.00	212.40±0.00	839.27±201.07	4.34
		<i>L. siamensis</i>	65.19±1.82	241.13±0.00	145.37±3.37	451.70±88.08	2.34
		<i>B. gonionotus</i>	72.75±1.48	150.48±0.06	69.15±0.59	292.38±45.95	2.61
		<i>O. hasselti</i>	72.75±1.14	160.82±0.00	73.02±0.86	306.59±50.77	2.61

*nd. = not detected; ^AStandard levels on contaminants in meat of fish are 0.05 and 0.2-0.3 mg/kg for Cd and Pb (Thailand Ministry of Public Health, 1986; Official Journal of the European Union, 2006)

สรุป

การปนเปื้อนโลหะหนักในแหล่งน้ำมีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำ โดยเฉพาะปลา ซึ่งโลหะหนักที่สะสมในปลาสามารถส่งต่อไปยังผู้บริโภคได้โดยผ่านทางห่วงโซ่อาหาร จากผลการศึกษาการปนเปื้อนโลหะหนักสังกะสี ทองแดง แคดเมียม และตะกั่ว ในน้ำ ตะกอนดิน และอวัยวะต่างๆ ของปลา 9 ชนิด พบว่าปริมาณโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในน้ำและปริมาณสังกะสีในตะกอนดินมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานกำหนด ส่วนการปนเปื้อนของโลหะหนักในปลาพบว่าปริมาณโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด ที่พบในแต่ละอวัยวะมีปริมาณเรียงลำดับจากมากไปน้อยคือ ทางเดินอาหาร > เหงือก > เนื้อ และพบค่า BCF เรียงจากมากไปน้อยคือ สังกะสี > ตะกั่ว > แคดเมียม > ทองแดง หากพิจารณาเฉพาะอวัยวะส่วนเนื้อที่นิยมบริโภคพบว่าในเนื้อของปลาทุกชนิดมีปริมาณการสะสมของแคดเมียมและตะกั่วเกินเกณฑ์มาตรฐานถึง >30 และ >100 เท่า ซึ่งแสดงว่าอยู่ในระดับที่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค จากผลการศึกษานี้ควรมีการเผยแพร่ข้อมูลสู่สาธารณชนเพื่อใช้ประกอบการพิจารณาตัดสินใจเลือกซื้ออาหารเพื่อการบริโภค รวมทั้งสร้างความตระหนักทั้งในเรื่องการจัดการปัญหาสิ่งแวดล้อมและการดูแลสุขภาพของประชาชนและยังเป็นแนวทางในการส่งเสริมให้เกษตรกรตระหนัก

และลดการใช้สารเคมี เช่น ยากำจัดวัชพืชและศัตรูพืช ปุ๋ยเคมี เป็นต้น หรือควรมีการตรวจติดตามการปนเปื้อนของสารเคมีอย่างสม่ำเสมอ เพื่อหาแนวทางป้องกันและจัดการต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- Chi, Q., Zhu, G. and Langdon, A. 2007. Bioaccumulation of heavy metals in fishes from Taihu Lake, China. *Journal of Environmental Sciences*. 19(12): 1500-1504.
- Crookes, M. and Brooke, B. 2011. Estimation of fish bioconcentration factor (BCF) from depuration data. UK, Environment Agency. 227 p. [Online]. Available from https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/291527/scho0811buce-e-e.pdf [2013, May 24]
- Davies, O.A., Allison, M.E. and Uyi, H.S. 2006. Bioaccumulation of heavy metals in water, sediment and periwinkle (*Tympanotonus fuscatus* var *radula*) from the Elechi Creek, Niger Delta. *African Journal of Biotechnology*. 5(10): 968-973.
- Dural, M., Goksu, M.Z.L. and Ozak, A.A. 2007. Investigation of heavy metal levels in economically important fish species captured from the Tuzla lagoon. *Food Chemistry*. 102(1), 415-421.
- Keepax, R.E., Moyes, L.N. and Livens, F.R. 2011. Speciation of heavy metals and radioisotopes. In: *Environmental and Ecological Chemistry vol II. Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)* [Online]. Available from <http://www.eolss.net/sample-chapters/c06/e6-13-03-05.pdf> [2016, May 24]
- Manahan, S.E. 1992. *Toxicological chemistry*. 2nd ed. USA, Lewis Publishers, INC. 449 p.
- Ministry of Natural Resources and Environment, Thailand. (1994). Announcement of National Environment Committee No. 8. Standard level on water surface quality. [in Thai]
- Ministry of Natural Resources and Environment, Thailand. (2004). Announcement of National Environment Committee No. 25. Standard level on soil quality. [in Thai]
- Ministry of Public Health, Thailand. (1986). Announcement of Ministry of Public Health No. 98. Standard Level on Contaminants in Foods. [in Thai]
- Modaihsh, A.S., Al-Swailem, M.S. and Mahjoub, M.O. 2004. Heavy metals content of commercial inorganic fertilizers used in the Kingdom of Saudi Arabia. *Agricultural and Marine Sciences*. 9(1): 21-25.
- Official Journal of the European Union (EU). 2006. Commission Regulation (EC) No 881/2006 of 19 December 2006, setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. L 364, 5-24.
- Pyle, G.G., Rajotte, J.W. and Couture, P. 2005. Effects of industrial metals on wild fish populations along a metal contamination gradient. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 61(3): 287-312.

- Rashed, M.N. 2001. Monitoring of environmental heavy metals in fish from Nasser Lake. *Environment International*. 27(1): 27-33.
- Tanee, T., Chaveerach, A., Narong, C., Pimjai, M., Punsombut, P. and Sudmoon, R. 2013. Bioaccumulation of heavy metals in fish from the Chi River, Maha Sarakham Province, Thailand. *International Journal of Biosciences*. 3(8): 159-167.
- Terra, B.F., Araújo, F.G., Calza, C.F., Lopes, R.T. and Teixeira, T.P. 2008. Heavy metal in tissues of three fish species from different trophic levels in a tropical Brazilian river. *Water, Air, and Soil Pollution*. 187(1): 275-284.
- Yousafzai, A.M., Chivers, D.P., Khan, A.R., Ahmad, I. and Siraj, M. 2010. Comparison of heavy metals burden in two freshwater fishes *Wallago attu* and *Labeo dyocheilus* with regard to their feeding habits in natural ecosystem. *Pakistan Journal of Zoology*. 42(5): 537-544.