

01

การสะสมทางชีวภาพของโลหะหนักในน้ำ ตะกอนดิน
และปลา ในอ่างเก็บน้ำห้วยแก่ง อำเภอดอนจาน
จังหวัดกาฬสินธุ์

BIOCONCENTRATION OF HEAVY METALS IN
WATER, SOIL SEDIMENT, AND FISH IN HUAY GENG
RESERVOIR, DONJAN DISTRICT, KALASIN

ธวัชชัย ธาณี^{a, c, ✉}, เพ็ญแข ธรรมเสนานุภาพ^a, รุ่งลาวัลย์ สุดมูล^{b, c} และอรุณรัตน์ ฉวีราช^{b, c}

^aคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

^bภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

^cกลุ่มวิจัยพันธุศาสตร์และพิษวิทยาสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยขอนแก่น

Tawatchai Tanee^{a, c, ✉}, Penkhae Thamsenanupap^a, Runglawan Sudmoon^{b, c} and Arunrat Chaveerach^{b, c}

^aFaculty of Environment and Resource Studies, Mahasarakham University

^bDepartment of Biology, Faculty of Science, Khon Kaen University

^cGenetics and Environmental Toxicology (GET) Research Group, Khon Kaen University

✉ tawatchai5@hotmail.com

บทคัดย่อ

การปนเปื้อนของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมเป็นปัญหาสำคัญ งานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อวิเคราะห์โลหะหนักในน้ำ ตะกอนดิน และปลาในอ่างเก็บน้ำห้วยแก่ง จังหวัดกาฬสินธุ์ โดยเก็บตัวอย่างน้ำ และตะกอนดิน จำนวน 3 จุด เก็บตัวอย่างปลาโดยแยกวิธีต่างๆ ได้แก่ เนื้อ ตับ ลำไส้ และเหงือก ทำการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก ได้แก่ สังกะสี ทองแดง แคดเมียม และตะกั่ว เปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในส่วนต่างๆ ของปลา ผลการศึกษาพบปริมาณความเข้มข้นของสังกะสี ทองแดง แคดเมียม และตะกั่ว ในน้ำมีค่าเท่ากับ 0.01-0.14 มก./ล., 0.002-0.08 มก./ล., 0.02-0.05 มก./ล. และ 0.07-0.91 มก./ล. ตามลำดับ ในตะกอนดินมีค่าเท่ากับ 1.98-19.44 มก./กก., 0.004-1.62 มก./กก., 1.01-1.77 มก./กก. และ 3.68-14.22 มก./กก. ตามลำดับ โดยปริมาณตะกั่วในน้ำมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน ปริมาณการสะสมของโลหะหนักในอวัยวะส่วนต่างๆ ของปลาเรียงจากมากไปหาน้อย ได้แก่ สังกะสี พบในลำไส้>ตับ>เหงือก>เนื้อทองแดง พบใน ตับ>ลำไส้>เหงือก>เนื้อ แคดเมียม พบใน ลำไส้>ตับ>เนื้อ>เหงือก และตะกั่ว พบใน ตับ>ลำไส้>เหงือก>เนื้อ โดยพบว่า ปริมาณการสะสมของแคดเมียมและตะกั่วในเนื้อปลาทุกชนิดมีค่าเกินเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด ส่วนค่าการสะสมทางชีวภาพของโลหะหนักในปลา พบว่า มีค่าเรียงลำดับจากมากไปน้อย คือ สังกะสี>แคดเมียม>ตะกั่ว>ทองแดง

คำสำคัญ : การสะสมทางชีวภาพ ปลากินเนื้อ ปลากินพืช โลหะหนัก

Abstract

Contamination from heavy metals is one of the most significant environmental pollutions worldwide. This study aims to determine the levels of heavy metals contaminating water, sediment, and fish in Huay Geng Reservoir, Kalasin province, Thailand. The samples of water and sediment were collected in three stations with three replicates. The fish samples were collected and the fish organs, including muscles, livers, intestines, and gills, were carefully dissected. The heavy metals, namely, zinc (Zn), copper (Cu), cadmium (Cd), and lead (Pb) of all the samples were quantified, and the heavy metals accumulated in the various organs of the fish samples were compared. The results showed that concentrations of Zn, Cu, Fe, and Pb in the water were 0.01-0.14 mg/l, 0.002-0.08 mg/l, 0.02-0.05 mg/l and 0.07-0.91 mg/l, respectively, in the soil sediment they were 1.98-19.44 mg/kg, 0.004-1.62 mg/kg, 1.01-1.77 mg/kg, and 3.68-14.22 mg/kg, respectively. Reviewing the concentrations of the metals, the Pb concentration in the water showed a value exceeding the standard level. The heavy metal in the fish organs was seen in the following order: intestine> liver> gill> muscle in Zn, liver> intestine> gill> muscle in Cu, intestine> liver> muscle> gill in Cd and liver> intestine> gill> muscle in Pb. The accumulations of Cd and Pb in the muscle of all the fish species showed values exceeding the standard level. The bioconcentration factor values of the heavy metals in the fish appeared in the order of Zn> Cd> Pb> Cu.

Keywords : Bioconcentration, Carnivorous fish, Herbivorous fish, Heavy metal

บทนำ

ปัญหามลภาวะทางน้ำในปัจจุบันเกิดจากการมีทั้งสารประกอบอินทรีย์และอนินทรีย์ รวมทั้งโลหะหนักในปริมาณมาก เนื่องจากโลหะหนักไม่สามารถสลายตัวได้ด้วยกระบวนการทางธรรมชาติ จึงมีบางส่วนสะสมอยู่ในดิน ตะกอนดินในน้ำ รวมถึงการสะสมอยู่ในสัตว์น้ำ เช่น ปลา (Tanee *et al.*, 2013) โลหะหนักที่มีรายงานพบปนเปื้อนในแหล่งน้ำและตะกอนดิน ได้แก่ สารหนู (Arsenic, As) แคดเมียม (Cadmium, Cd) โคบอลต์ (Cobalt, Co) โครเมียม (Chromium, Cr) ทองแดง (Copper, Cu) เหล็ก (Ferrous, Fe)ปรอท (Mercury, Hg) ตะกั่ว (Lead, Pb) แมกนีเซียม (Magnesium, Mg) แมงกานีส (Manganese, Mn) โมลิบดีนัม (Molybdenum, Mo) นิกเกิล (Nickel, Ni) แวนาเดียม (Vanadium, V) และสังกะสี (Zinc, Zn) (Keepax *et al.*, 2011) โลหะหนักเป็นสารที่คงตัวไม่สามารถสลายตัวได้ในกระบวนการธรรมชาติ เมื่อเกิดการสะสมในสิ่งแวดล้อมจะถูกถ่ายทอดไปตามห่วงโซ่อาหารและสะสมในสิ่งมีชีวิต ก่อให้เกิดโทษหรือความเป็นพิษต่อร่างกายหลายๆ ด้าน เช่นเป็นสาเหตุการเกิดมะเร็ง ทำลายระบบของกระดูกสันหลัง ทำให้ความดันโลหิตสูง ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์และทำให้ดีเอ็นเอเกิดความผิดปกติ (Manahan, 1992)

ปลานิยมนำมาบริโภคเป็นอาหารอย่างมากและยังเป็นดัชนีชี้วัดภาพในแหล่งน้ำได้เป็นอย่างดี (Rashed, 2001) ปลาที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำธรรมชาติเป็นสิ่งมีชีวิตกลุ่มแรกๆ ที่จะได้รับผลกระทบจากการปนเปื้อนของสารพิษโดยเฉพาะโลหะหนัก เมื่อแหล่งน้ำได้รับการปนเปื้อนจากโลหะหนัก จากนั้นก็จะมีการสะสมโดยตรงในปลาผ่านทางกระบวนการหายใจและการกินอาหาร แล้วสะสมต่อในคนผ่านการบริโภคปลาเป็นอาหาร ทั้งปลากินพืชและปลากินสัตว์ที่พบในแหล่งน้ำมีพฤติกรรมการกินอาหารที่แตกต่างกันอาจมีการสะสมโลหะหนักที่แตกต่างกันได้ มีงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการสะสมโลหะหนักในปลามากมายทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ ที่รายงานการสะสมของโลหะหนัก เช่น แคดเมียม โครเมียม ตะกั่ว สังกะสี เป็นต้น ในอวัยวะส่วนต่างๆ ของปลา ว่ามีการสะสมของโลหะหนักที่แตกต่างกันในแต่ละอวัยวะของปลา (Chi *et al.*, 2007; Rashed, 2001; Tanee *et al.*, 2013; Terra *et al.*, 2008)

อ่างเก็บน้ำห้วยแก่งถูกสร้างขึ้นเพื่อเป็นแหล่งน้ำสำหรับชลประทานโดยรอบของอ่างเก็บน้ำตลอดสายนั้น เป็นพื้นที่การเกษตรและเขตชุมชน แหล่งทำประมงของคนในพื้นที่และเมื่อมีฝนตกลงมาจึงเป็นแหล่งรองรับน้ำจากชุมชนและพื้นที่การเกษตรรอบๆ โดยพื้นที่การเกษตรนั้นมีการใช้สารเคมีทั้งสารกำจัดศัตรูพืชและยาฆ่าแมลง ซึ่งล้วนแต่มีส่วนผสมของโลหะหนัก เมื่อโลหะหนักถูกชะล้าง ลงสู่แหล่งน้ำจึงเกิดการสะสมของโลหะหนักในระบบนิเวศน้ำเกิดการสะสมในห่วงโซ่อาหาร เมื่อคนบริโภคปลาจากแหล่งที่มีการสะสมของโลหะเกิดการสะสมในร่างกายก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อร่างกาย (Manahan, 1992)

อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีรายงานวิจัยปริมาณโลหะหนักที่สะสมในปลาในพื้นที่บริเวณนี้ ดังนั้นผู้ทำวิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาเกี่ยวกับการสะสมของโลหะหนัก ได้แก่ สังกะสี ทองแดง แคดเมียม และตะกั่วในส่วนต่างๆ ของปลากินพืชและปลากินสัตว์ในอ่างเก็บน้ำห้วยแก่ง รวมทั้งศึกษาปริมาณการสะสมของโลหะหนักในน้ำและตะกอนดินด้วย

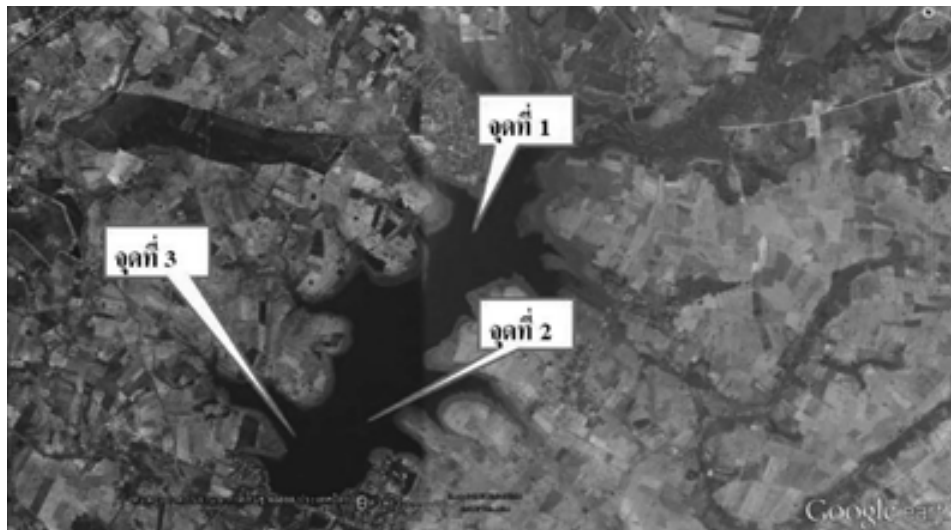
วิธีดำเนินการวิจัย

พื้นที่ศึกษา

อ่างเก็บน้ำห้วยแก อำเภอดอนจาน จังหวัดกาฬสินธุ์ เป็นแหล่งน้ำสำหรับชลประทานโดยรอบของอ่างเก็บน้ำ ประกอบด้วยพื้นที่การเกษตรและเขตชุมชน โดยกำหนดจุดเก็บตัวอย่างน้ำและตะกอนดิน เป็น 3 จุด จุดละ 3 ซ้ำ (ตารางที่ 1 และภาพที่ 1) ครอบคลุมพื้นที่อ่างเก็บน้ำห้วยแก ทำการเก็บตัวอย่าง 2 ครั้ง ต่อฤดูกาล

ตารางที่ 1 จุดเก็บตัวอย่างน้ำ และตะกอนดินในอ่างเก็บน้ำห้วยแก

จุดที่	ชื่อสถานที่ใกล้เคียง	โซน	พิกัด X	พิกัด Y
1	บ้านห้วยตุม	48Q	0361923	1831701
2	บ้านแก้งนาง	48Q	0361486	1830171
3	บ้านดงเย็น-บ้านหัวคูดิน	48Q	0360268	1828652



ภาพที่ 1 พื้นที่จุดเก็บตัวอย่างน้ำ และตะกอนดิน ในอ่างเก็บน้ำห้วยแก

ที่มา: ดัดแปลงจาก Google earth

การเก็บตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างน้ำในจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 3 จุด จุดละ 3 ขั้ว ที่ระดับความลึก 50 เซนติเมตร จากผิวน้ำใส่ขวดโพลีเอทิลีนขนาด 1 ลิตร จากนั้นหยดกรดไนตริกเข้มข้น 1-2 หยด แล้วแช่น้ำแข็ง และนำมาเก็บที่ตู้เย็น 4°C ที่ห้องปฏิบัติการคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ เพื่อรอวิเคราะห์ต่อไป

เก็บตัวอย่างตะกอนดินในจุดเดียวกับจุดเก็บตัวอย่างน้ำ โดยใช้ Eckman Grab จำนวน 3 จุด จุดละ 3 ขั้ว แล้วนำตะกอนดินประมาณ 100 กรัม ใส่ถุงพลาสติกผูกปากถุงให้แน่นนำไปแช่เย็นในถังน้ำแข็ง เพื่อนำไปวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ต่อไป

ส่วนตัวอย่างปลาได้ซื้อจากชาวประมงที่จับปลาจากอ่างเก็บน้ำนี้เป็นปลากินพืช 4 ชนิด ได้แก่ ปลาสวายขาว (*Henicorhynchus siamensis*) ปลานิล (*Oreochromis niloticus*) ปลาช้ำ (*Labiobarbus siamensis*) และปลาสวายนกเขา (*Osteochilus hasselti*) และปลากินสัตว์ 4 ชนิด ได้แก่ ปลาแขยงนวล (*Mystus wolffii*) ปลาหมอ (*Anabas testudineus*) ปลาบู่ (*Oxyleo trismamorata*) และปลาสบง (*Xenentodon cancella*)

การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก

ตัวอย่างน้ำ

นำตัวอย่างน้ำปริมาตร 50 มิลลิลิตร มาเติมกรดเปอร์คลอริก (HClO_4): ไนตริก (HNO_3) (อัตราส่วน 1:3) 12 มิลลิลิตร แล้วนำไปย่อยที่อุณหภูมิ 80°C บนเตาให้ความร้อน จนมีปริมาตรเหลือ 20 มิลลิลิตร ทิ้งให้เย็น จากนั้นนำไปกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 และปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำปราศจากไอออน (Agunbiade *et al.*, 2009)

ตัวอย่างตะกอนดิน

ตะกอนดินที่เก็บจากจุดเก็บถูกนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากตัวอย่างแห้ง ทิ้งให้เย็นแล้วนำไปบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร จากนั้นนำตัวอย่างตะกอนดินที่บดและร่อนแล้ว 1 กรัม ไปย่อยด้วยกรดเปอร์คลอริก : ไนตริก (อัตราส่วน 1:3) ปริมาตร 12 มิลลิลิตร บนเตาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 30 นาที ทิ้งให้เย็น จากนั้นนำไปกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 และปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำปราศจากไอออน (Pyle *et al.*, 2005)

ตัวอย่างปลา

นำตัวอย่างปลามาทำการแยกอวัยวะส่วนต่างๆ ได้แก่ เนื้อ ตับ ลำไส้ และเหงือก ล้างด้วยน้ำกลั่น และหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ นำตัวอย่างไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลานาน 48 ชั่วโมง จากนั้นนำตัวอย่างปลาที่แห้งแล้ว 1 กรัม ไปย่อยด้วยกรดเปอร์คลอริก : ไนตริก (อัตราส่วน 1:3) ปริมาตร 12 มิลลิลิตร บนเตาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 30 นาที ทิ้งให้เย็น จากนั้นนำไปกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 และปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำปราศจากไอออน (Agunbiade *et al.*, 2009)

นำตัวอย่างสารละลายที่ย่อยแล้วของน้ำ ตะกอนดิน และทุกอวัยวะต่างๆ ของปลา มาวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนักได้แก่ ตะกั่ว แคดเมียม สังกะสี และทองแดง ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) รุ่น AA 6200 (Shimadzu, Japan) โดยทุกตัวอย่างทำการวิเคราะห์ 3 ขั้ว

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำ ตะกอนดิน และปลา และทดสอบความแตกต่างของปริมาณการสะสมของโลหะหนักในปลาโดยใช้โดยใช้โปรแกรม SPSS for Windows: One Way ANOVA และ Independent t-test

วิเคราะห์ค่าการสะสมทางชีวภาพในสิ่งมีชีวิต (Bioconcentration factor: BCF) จากสูตรของ Crookes & Brooke (2011) เพื่อใช้ในการบ่งบอกความเข้มข้นของโลหะหนักจากสิ่งแวดล้อมเข้าสู่สิ่งมีชีวิต คือ BCF เท้ากับความเข้มข้นของโลหะหนักในปลาต่อความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำ

ผลและวิจารณ์ผลการศึกษา

ปริมาณโลหะหนักในน้ำและตะกอนดิน

จากการศึกษาปริมาณการสะสมของโลหะหนัก ได้แก่ สังกะสี ทองแดง แคดเมียม และตะกั่ว ในอ่างเก็บน้ำห้วยแก่ง ทั้ง 3 จุด คือ บ้านห้วยตูม (จุดที่ 1) บ้านแก่งนาง (จุดที่ 2) และบ้านดงเย็น-บ้านห้วยคูดิน (จุดที่ 3) พบว่า แต่ละจุดมีปริมาณการสะสมของโลหะหนักในน้ำ ดังตารางที่ 2 โดยพบว่า ปริมาณสังกะสีมีค่าอยู่ในช่วง 0.01 - 0.14 มก./ล. ทองแดงมีค่าอยู่ในช่วง 0.002 - 0.08 มก./ล. (บางจุดที่ตรวจไม่พบ (nd.)) แคดเมียมมีค่าอยู่ในช่วง 0.02 - 0.05 มก./ล. และตะกั่วมีค่าอยู่ในช่วง 0.07 - 0.91 มก./ล. ปริมาณการสะสมของโลหะหนักในน้ำสามารถเรียงลำดับการสะสมจากมากไปหาน้อยได้ดังนี้ ตะกั่ว>สังกะสี>แคดเมียม>ทองแดง และพบว่า ปริมาณโลหะหนักทุกชนิดในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 2) อย่างไรก็ตามจากผลการวิเคราะห์พบว่าการสะสมของสังกะสี ทองแดง และแคดเมียมมีปริมาณการสะสมอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน มีเพียงตะกั่วที่มีปริมาณการสะสมที่สูงกว่าค่ามาตรฐานโลหะหนักในน้ำผิวดิน (0.05 มก./ล.) (Announcement of the National Environment Committee, Issue 8, 1994)

จากการศึกษาปริมาณการสะสมของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด (สังกะสี ทองแดง แคดเมียม และตะกั่ว) ในตะกอนดิน พบว่าปริมาณสังกะสีมีค่าอยู่ในช่วง 1.98 - 19.44 มก./กก. ทองแดงมีค่าอยู่ในช่วง 0.004 - 1.62 มก./กก. (บางจุดที่ตรวจไม่พบ (nd.)) แคดเมียมมีค่าอยู่ในช่วง 1.01 - 1.77 มก./กก. และตะกั่วมีค่าอยู่ในช่วง 3.68 - 14.22 มก./กก. โดยปริมาณการสะสมของโลหะหนักในตะกอนดินสามารถเรียงลำดับจากมากไปหาน้อยได้ดังนี้ ตะกั่ว>สังกะสี>แคดเมียม>ทองแดง และพบว่า ปริมาณโลหะหนักทุกชนิดในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 3) ผลการวิเคราะห์การสะสมของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด มีค่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพดิน (Announcement of National Environment Committee, Issue 25, 2004)

ตารางที่ 2 ปริมาณโลหะหนักในน้ำในอ่างเก็บน้ำห้วยแก่ง จังหวัดกาฬสินธุ์

เก็บครั้งที่	จุดเก็บตัวอย่าง	ค่าความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำ (มก./ล.)			
		สังกะสี	ทองแดง	แคดเมียม	ตะกั่ว
1 (เดือนพฤศจิกายน)	บ้านห้วยตูม	0.06±0.012	nd.	0.03±0.003	0.07±0.013
	บ้านแก่งนาง	0.12±0.008	0.08	0.02±0.005	0.12±0.005
	บ้านดงเย็น-บ้านห้วยคูติน	0.14±0.012	0.002	0.02±0.005	0.11±0.014
2 (เดือนมกราคม)	บ้านห้วยตูม	0.01±0.003	nd.	0.04±0.003	0.66±0.032
	บ้านแก่งนาง	0.02±0.003	nd.	0.03±0.001	0.91±0.016
	บ้านดงเย็น-บ้านห้วยคูติน	0.03±0.006	nd.	0.05±0.006	0.87±0.028
ความเข้มข้นเฉลี่ย		0.06±0.05	0.04±0.06	0.03±0.01	0.46±0.40
P-value (0.05) (ระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง)		0.320	-	0.737	0.725
มาตรฐานโลหะหนักในน้ำผิวดิน*		1.00	0.10	0.05	0.05

หมายเหตุ: nd., non detected

*Announcement of the National Environment Committee, Issue 8 (1994)

ตารางที่ 3 ปริมาณการสะสมของโลหะหนักในตะกอนดินในอ่างเก็บน้ำห้วยแก่ง จังหวัดกาฬสินธุ์

เก็บครั้งที่	จุดเก็บตัวอย่าง	ความเข้มข้นของโลหะหนักในดินตะกอน (มก./กก.)			
		สังกะสี	ทองแดง	แคดเมียม	ตะกั่ว
1 (เดือนพฤศจิกายน)	บ้านห้วยตูม	19.44±16.87	0.86±0.86	1.77±0.76	9.27±1.34
	บ้านแก่งนาง	7.23±3.007	nd.	1.01±0.65	3.68±3.90
	บ้านดงเย็น-บ้านห้วยคูติน	10.10±4.74	1.62±0.67	1.10±0.45	4.42±3.48
2 (เดือนมกราคม)	บ้านห้วยตูม	5.81±2.54	0.004	1.55±0.32	11.43±3.75
	บ้านแก่งนาง	1.98±0.07	nd.	1.73±0.26	14.22±0.53
	บ้านดงเย็น-บ้านห้วยคูติน	2.36±1.02	nd.	1.62±0.41	19.09±4.44
ความเข้มข้นเฉลี่ย		7.82±6.46	0.83±0.81	1.46±0.33	10.35±5.89
P-value (0.05) (ระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง)		0.183	-	0.582	0.995
ค่ามาตรฐานคุณภาพดิน*		-	-	37	400

หมายเหตุ: nd.,non detected

*Announcement of National Environment Committee, Issue 25 (2004)

จากผลการศึกษาข้างต้นพบว่าปริมาณตะกั่วในน้ำมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน (มีค่ามากกว่า 0.05 มก./ล.) ในขณะที่โลหะหนักอื่นๆ และปริมาณโลหะหนักทุกชนิดในตะกอนดินมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานกำหนด อย่างไรก็ตามพบว่า ปริมาณตะกั่วทั้งในน้ำและตะกอนดินมีปริมาณมากกว่าโลหะหนักชนิดอื่นๆ มีรายงานการวิจัยระบุว่า ตะกั่วสามารถพบได้ในปุ๋ยเคมีที่มีการนำมาใช้สำหรับการเกษตร (Modaihsh *et al.*, 2004) จากลักษณะพื้นที่โดยรอบอ่างเก็บน้ำห้วยแก้งมีการทำเกษตรกรรมทั้งนาไร่และมีการใช้ปุ๋ยเคมีและสารเคมีอื่นๆ เพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร จึงมีความเป็นไปได้ที่ทำให้เกิดการปนเปื้อนของโลหะหนักดังกล่าวโดยเฉพาะตะกั่วในบริเวณโดยรอบ เมื่อมีการชะล้างด้วยฝนโลหะหนักจะไหลลงมาสะสมในอ่างเก็บน้ำ จากลักษณะของอ่างเก็บน้ำที่มีการระบายน้ำออกได้น้อยจึงเป็นพื้นที่ที่สามารถสะสมโลหะหนักได้เป็นอย่างดี ในขณะที่น้ำในแม่น้ำที่มีการไหลระบายตลอดเวลาเช่นแม่น้ำชีบริเวณอำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม พบว่ามีปริมาณตะกั่วต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานมาก (Tanee *et al.*, 2013) ทำให้ปลาที่อาศัยอยู่ในพื้นที่อ่างเก็บน้ำห้วยแก้งอาจมีการสะสมโลหะหนักตามไปด้วย ส่วนช่วงระยะเวลาการเก็บตัวอย่างคือช่วงเดือนพฤศจิกายน และมกราคมนั้น พบว่าปริมาณตะกั่วทั้งในน้ำและตะกอนดินในช่วงเดือนมกราคมมีค่ามากกว่าเดือนพฤศจิกายน โดยปริมาณการสะสมของตะกั่วในตะกอนดินมีความสอดคล้องกับปริมาณของตะกั่วในน้ำ ซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับการชะล้างของโลหะหนักลงสู่อ่างเก็บน้ำ การสะสมของโลหะหนักปนเปื้อนสู่แหล่งน้ำและตะกอนดินส่งผลให้สิ่งมีชีวิตหน้าดินและสัตว์ที่หากินบริเวณหน้าดินในแหล่งน้ำมีโอกาสได้รับโลหะหนักไปสะสมอยู่ในร่างกาย และสามารถถ่ายทอดไปตามห่วงโซ่อาหาร มาถึงมนุษย์ซึ่งเป็นผู้บริโภคลำดับสุดท้าย (Manahan, 1992)

การสะสมโลหะหนักในปลา

จากการศึกษาปริมาณการสะสมโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ สังกะสี ทองแดง แคดเมียม ตะกั่ว ใน ปลากินเนื้อ ได้แก่ ปลาแขยงนวล ปลาหมอ ปลาน้ำ และปลาสบธง และปลากินพืช ได้แก่ ปลาสวายขาว ปลานิล ปลาซา และปลาสวายนกเขา อวัยวะส่วนต่างๆ ของปลา คือ เนื้อ ตับ ลำไส้ และเหงือก จากผลการวิเคราะห์พบว่า การสะสมของสังกะสีมีค่าตั้งแต่ 285.59 มก./กก. (ปลาน้ำ) ถึง 4031.05 มก./กก. (ปลาแขยงนวล) ทองแดงมีค่าตั้งแต่ 13.75 มก./กก. (ปลาแขยงนวล) ถึง 1051.40 มก./กก. (ปลานิล) แคดเมียมมีค่าตั้งแต่ 3.42 มก./กก. (ปลาน้ำ) ถึง 170.13 มก./กก. (ปลานิล) และตะกั่วมีค่าตั้งแต่ 17.98 มก./กก. (ปลาน้ำ) ถึง 305.55 มก./กก. (ปลาแขยงนวล) (ตารางที่ 4) โลหะหนักที่มีการสะสมในปลาเรียงลำดับจากมากไปหาน้อยคือ สังกะสี > ทองแดง > ตะกั่ว > แคดเมียม ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาปริมาณโลหะหนักในปลาแถบเมดิเตอร์เรเนียนที่พบว่าการสะสมของสังกะสีและทองแดงมากกว่าตะกั่วและแคดเมียม (Canli & Atli, 2003) สังกะสีและทองแดงเป็นกลุ่มโลหะหนักที่จำเป็นต่อการทำงานของเซลล์ทำหน้าที่เป็นโคแฟกเตอร์ในการทำงานของเอนไซม์ทำให้กระบวนการต่างๆ ภายในเซลล์เกิดขึ้นอย่างปกติ แต่ถ้ามีการสะสมของโลหะหนักทั้งสองชนิดนี้มากเกินไปอาจส่งผลต่อการทำงานของเซลล์ได้เช่นกัน (Rajkowska & Protasowicki, 2013) อย่างไรก็ตาม การศึกษาค้นคว้าพบปริมาณการสะสมของตะกั่วและแคดเมียมในปลาทุกชนิดมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานกำหนด (0.05 และ 0.3-1 มก./กก.) (Announcement of Ministry of Public Health, Issue 98 (1986); European Commission Regulation, No.881, 2006 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Tanee *et al.* (2013) ที่พบปริมาณตะกั่วสะสมในปลาจำนวน 7 ชนิด ในแม่น้ำชีมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานกำหนด แสดงให้เห็นถึงความปลอดภัยในการบริโภคปลา ซึ่งอาจทำให้โลหะ

นักสะสมมาสู่ผู้บริโภคได้ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการสะสมของโลหะหนักในปลากินเนื้อและปลากินพืชพบว่าปริมาณการสะสมของสังกะสีและตะกั่วในปลาทั้งสองประเภทแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ส่วนทองแดงและแคดเมียมมีปริมาณการสะสมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยพบปริมาณทองแดงสูงในปลากินพืช ในขณะที่พบปริมาณแคดเมียมสูงในปลากินเนื้อ ปริมาณการสะสมของโลหะหนักที่แตกต่างกัน ขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น ขนาด อายุ ชนิดของปลา น้ำหนัก เพศ ระดับการหากิน และอาหารที่กิน (Dural *et al.*, 2007; Yousafzai *et al.*, 2010) ถึงแม้ว่าลำดับการบริโภคตามห่วงโซ่อาหารปลากินเนื้อจะสูงกว่าปลากินพืชก็ตาม แต่จากข้อมูลไม่สามารถกล่าวได้ว่าปริมาณการสะสมโลหะหนักในปลากินเนื้อสูงกว่าปลากินพืชในโลหะหนักทุกชนิด ซึ่งอาจมีการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของปัจจัยต่างๆ ข้างต้น เพื่อให้สามารถบอกความแตกต่างของการสะสมโลหะหนักในปลากินพืชและปลากินเนื้อได้

จากผลการวิเคราะห์การสะสมของโลหะหนัก (สังกะสี ทองแดง แคดเมียม และตะกั่ว) ในอวัยวะส่วนต่างๆ ของปลา พบว่า ในอวัยวะส่วนต่างๆ มีการสะสมของโลหะหนักเรียงจากมากไปหาน้อยได้ดังนี้ สังกะสี พบในลำไส้>ตับ>เหงือก>เนื้อ ทองแดง พบในตับ>ลำไส้>เหงือก>เนื้อ แคดเมียม พบในลำไส้>ตับ>เนื้อ>เหงือก และตะกั่ว พบในตับ>ลำไส้>เหงือก>เนื้อ (ภาพที่ 2) และพบว่าอวัยวะที่มีการสะสมของโลหะหนักสูงที่สุดคือ ตับ และลำไส้ ส่วนเนื้อพบน้อยที่สุดในโลหะหนักทุกชนิดที่วิเคราะห์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Roméo *et al.* (1999) ที่ศึกษาการสะสมของโลหะหนักแคดเมียม ทองแดง สังกะสี และปรอทในอวัยวะส่วนต่างๆ ของปลาบริเวณแถวชายหาดของมัวริทาเนีย พบว่า โลหะหนักมีการสะสมในตับสูงสุด และในเนื้อพบการสะสมของโลหะหนักน้อยที่สุด เช่นเดียวกับการศึกษาการสะสมโลหะหนักในอวัยวะส่วนต่างๆ ของปลาที่พบว่า ตับเป็นอวัยวะที่มีการสะสมโลหะหนักมากที่สุด ในขณะที่เนื้อเป็นส่วนที่มีการสะสมโลหะหนักน้อยที่สุด (Chi *et al.*, 2007; Dural *et al.*, 2007; Rauf *et al.*, 2009; Tanee *et al.*, 2013) ตับเป็นอวัยวะที่สำคัญและจำเป็นในการสะสมและลดความเป็นพิษของโลหะหนัก โดยในตับปลามีโปรตีนที่สำคัญคือ เมทาโลไทโอนีน (Metallothioneins) ทำหน้าที่สำคัญในกระบวนการเมตาบอลิซึมในการสะสมและลดความเป็นพิษของโลหะหนักในปลา (Roméo *et al.*, 1999) ถึงแม้ว่าเนื้อเป็นอวัยวะที่มีการสะสมโลหะหนักน้อยที่สุด แต่เนื้อเป็นส่วนที่ถูกนำมาบริโภคมากที่สุดและพบว่า เนื้อของปลาทุกชนิดมีการสะสมโลหะหนักแคดเมียมและตะกั่วมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานกำหนดของ Announcement of Ministry of Public Health, Issue 98 (1986) และของสหภาพยุโรป (Official Journal of the European Union, 2006) ที่กำหนดให้ในเนื้อปลามีแคดเมียมไม่เกิน 0.05 มก./กก และตะกั่วไม่เกิน 0.3-1 มก./กก. ซึ่งปริมาณโลหะหนักที่มีการสะสมในปลามากจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้บริโภคอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ผลการศึกษานี้ถือเป็นข้อมูลที่สำคัญในการสร้างความตระหนักทั้งในเรื่องการจัดการปัญหาสิ่งแวดล้อมและการดูแลสุขภาพมนุษย์ โดยปกติโลหะหนักมีความเป็นพิษต่อดับ ไต และสมอง โดยไปขัดขวางการทำงานของเอ็นไซม์ในกระบวนการเมตาบอลิซึม และเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการกลายพันธุ์ มะเร็ง และโรคอื่นๆ อีกหลายชนิด (Manahan, 1992)

ตารางที่ 4 ปริมาณโลหะหนักสังกะสี ทองแดง แคดเมียม และตะกั่ว และอวัยวะส่วนต่างๆ ของปลา
ในอ่างเก็บน้ำห้วยแก่ง จังหวัดกาฬสินธุ์

ชนิดปลา	อวัยวะ	ปริมาณโลหะหนัก (มก./กก.)			
		สังกะสี	ทองแดง	แคดเมียม	ตะกั่ว
ปลาแวงนวล (<i>Mystus wolffii</i>)	เนื้อ	67.97	nd.	2.20	3.67
	ลำไส้	3544.83	nd.	92.12	91.13
	ตับ	245.50	13.75	35.00	185.75
	เหงือก	172.75	nd.	11.15	25.00
	รวม	4031.05	13.75	140.47	305.55
ปลาหมอ (<i>Anabas testudineus</i>)	เนื้อ	36.07	nd.	0.83	nd.
	ลำไส้	172.83	nd.	28.74	nd.
	ตับ	363.70	86.91	18.27	nd.
	เหงือก	77.91	nd.	8.09	20.41
	รวม	650.51	86.91	55.93	20.41
ปลาสร้อย (3 ตัว) (<i>Xenentodon cancella</i>)	เนื้อ	101.04±72.99	nd.	1.60±0.03	4.93±1.43
	ลำไส้	200.62±51.80	3.85±4.02	15.68±10.73	84.53
	ตับ	642.39±785.15	15.74	48.25±39.58	58.53±18.63
	เหงือก	239.19±52.73	nd.	15.61±13.45	53.33±25.48
	รวม	1183.23	19.58	81.13	201.32
ปลานู (<i>Oxyleo trismamorata</i>)	เนื้อ	40.04	nd.	0.30	0.92
	ลำไส้	79.62	5.28	1.03	nd.
	ตับ	73.72	30.66	1.02	nd.
	เหงือก	92.21	0.66	1.07	17.06
	รวม	285.59	36.60	3.42	17.98
ปลาสร้อยขาว (3 ตัว) (<i>Henicorhynchus siamensis</i>)	เนื้อ	51.29±5.10	2.52±2.60	0.62±0.25	8.96±4.29
	ลำไส้	293.61±129.30	33.38±7.56	6.40±4.55	55.18±29.99
	ตับ	433.00±81.34	241.04±49.84	31.72±20.45	179.08±114.88
	เหงือก	82.80±5.34	3.09±1.56	1.71±0.31	20.24±5.63
	รวม	860.70	279.99	40.45	263.46
ปลานิล (4 ตัว) (<i>Oreochromis niloticus</i>)	เนื้อ	67.92±39.71	nd.	1.55±1.31	8.32±0.03
	ลำไส้	686.75±1228.91	15.85±15.42	163.46±324.36	13.60±5.37
	ตับ	112.87±68.82	1,034.53±285.37	3.10±2.39	17.51±11.64
	เหงือก	60.17±19.90	1.02	2.02±1.10	53.26±82.60
	รวม	927.72	1051.40	170.13	92.69
ปลาช้ำ (<i>Labiobarbus siamensis</i>)	เนื้อ	38.32	nd.	0.58	1.84
	ลำไส้	198.57	64.5	4.62	7.32
	ตับ	-	-	-	-
	เหงือก	60.95	0.03	2.73	5.93
	รวม	297.84	64.52	7.93	15.09
ปลาสร้อยนกเขา (<i>Osteochilus hasselti</i>)	เนื้อ	190.87	nd.	79.45	84.47
	ลำไส้	193.91	nd.	36.81	107.54
	ตับ	54.26	nd.	2.95	26.99
	เหงือก	38.00	nd.	0.17	4.62
	รวม	477.05	nd.	119.38	223.62
P-Value (0.05)*		0.066	0.002	0.005	0.012
P-Value (0.05)**		0.162	0.000	0.006	0.360
เกณฑ์มาตรฐาน	(1)	100	20	-	1
	(2)	-	-	0.05	0.3

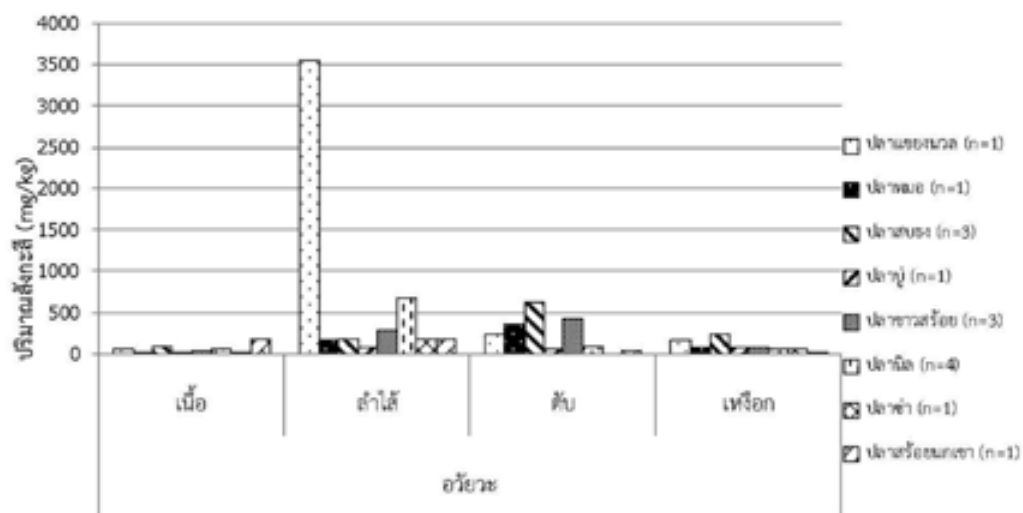
หมายเหตุ: nd., non detected

* ค่า P-value แสดงการเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในอวัยวะส่วนต่างๆ ของปลา

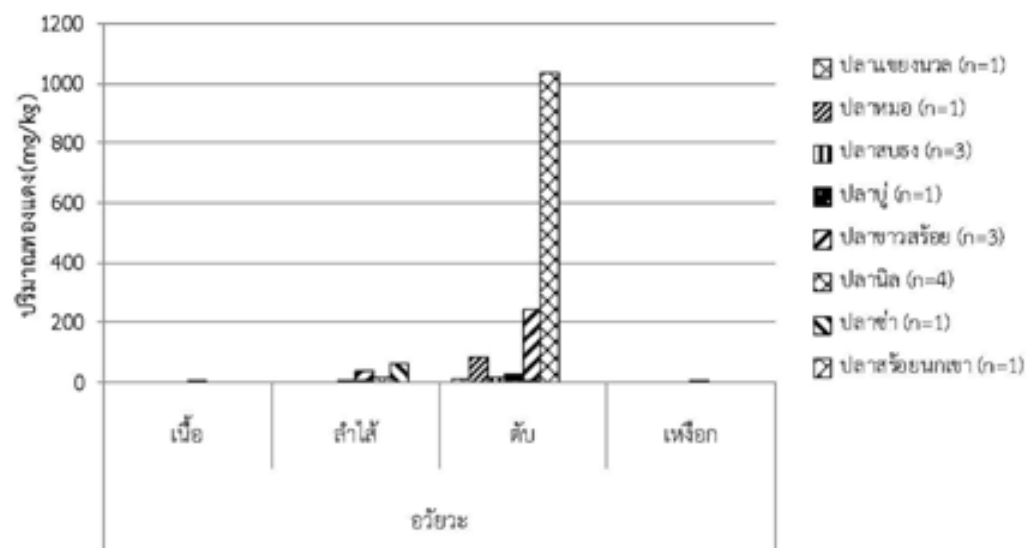
** ค่า P-value แสดงการเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในปลาทินเนื้อกับปลากินพืช

(1) มาตรฐานปริมาณโลหะหนักในเนื้อเยื่อปลาธรรมชาติ (Announcement of Ministry of Public Health, Issue 98, 1986)

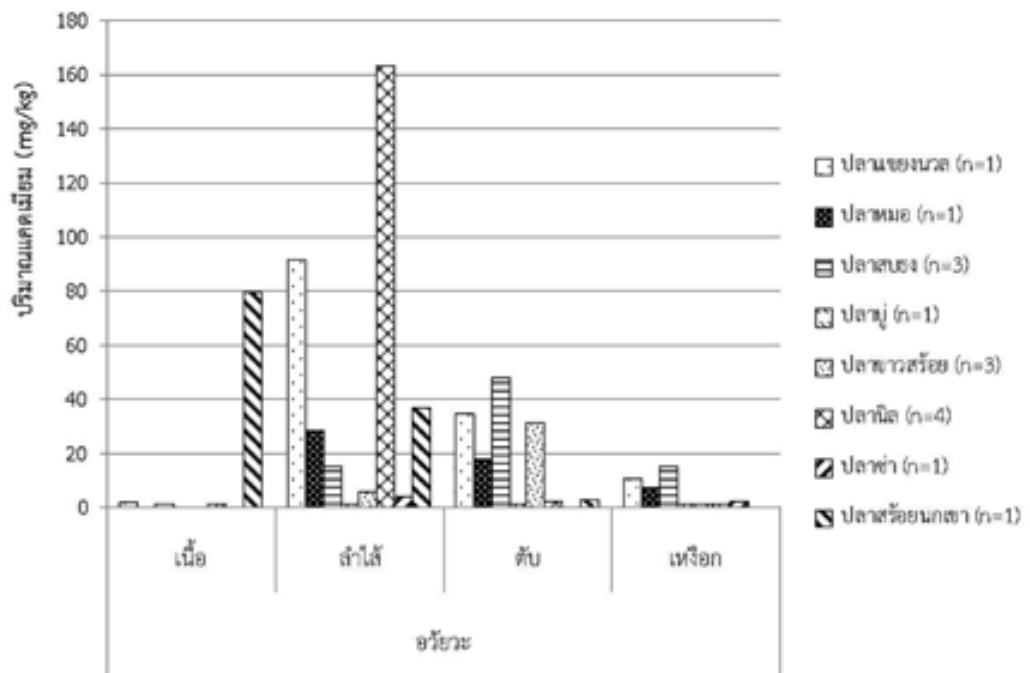
(2) มาตรฐานปริมาณโลหะหนักในเนื้อปลาในธรรมชาติของสหภาพยุโรป (EU) (European Commission Regulation, No.881, 2006)



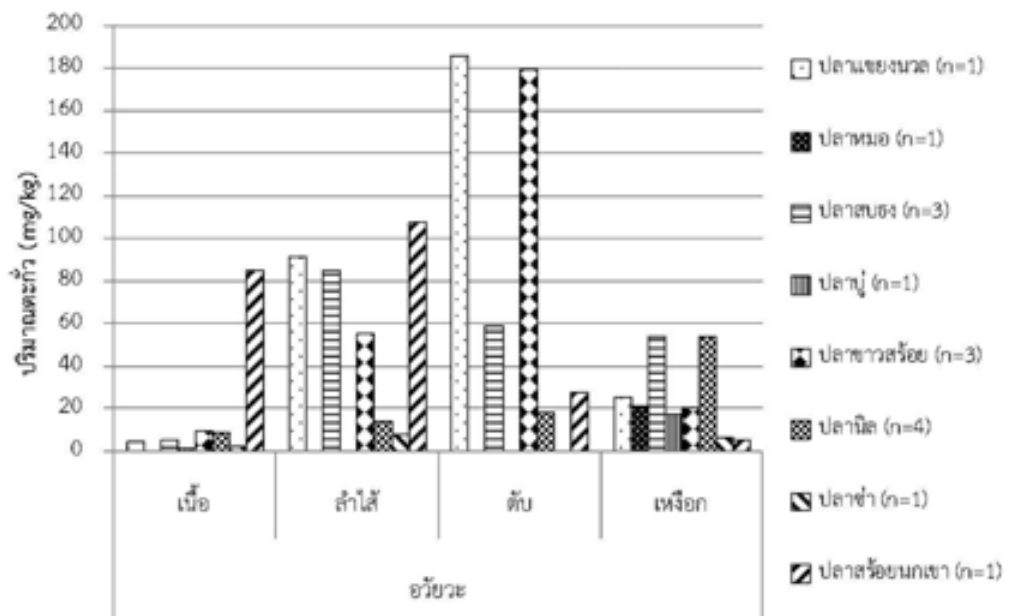
ก. สังกะสี



ข. ทองแดง



ค. แคดเมียม



ง. ตะกั่ว

ภาพที่ 2 ปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักในอวัยวะเนื้อ ลำไส้ ตับ และเหยือก ของปลาในอ่างเก็บน้ำห้วยแก่ง จังหวัดกาฬสินธุ์

ผลการวิเคราะห์ค่าการสะสมทางชีวภาพ

BCF เป็นค่าที่ใช้ในการอธิบายการสะสมของสารเคมีในสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำที่มีการปนเปื้อนสารเคมี โดยเป็นอัตราความเข้มข้นของสารเคมีในสิ่งมีชีวิตต่อความเข้มข้นของสารเคมีในน้ำ เกิดจากการที่สิ่งมีชีวิตได้รับสารเคมีที่ปนเปื้อนในน้ำผ่านทางเหงือกแล้วมีการสะสมในร่างกายหรืออวัยวะต่างๆ ของสัตว์ จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าค่า BCF ของสังกะสีมีค่าตั้งแต่ 569.53 (ปลาหมอ) ถึง 3,013.74 (ปลาสล่อนกเขา) ทองแดงเท่ากับ 61.46 (ปลาสล่อนกเขา) แคดเมียมมีค่าตั้งแต่ 9.47 (ปลาบู่) ถึง 2,508.95 (ปลาสล่อนกเขา) และตะกั่วมีค่าตั้งแต่ 2.01 (ปลาบู่) ถึง 184.97 (ปลาสล่อนกเขา) (ตารางที่ 5) ค่า BCF ของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด สามารถเรียงลำดับการสะสมจากมากไปหาน้อยได้ดังนี้ สังกะสี > แคดเมียม > ตะกั่ว > ทองแดง ค่า BCF สูงแสดงให้เห็นว่าปลาสามารถรับโลหะหนักจากสิ่งแวดล้อมได้ในอัตราที่มาก โดยอัตราการสะสมมีความแตกต่างกันตามชนิดและพฤติกรรมการกินอาหารของปลาชนิดนั้น และอาจขึ้นกับขนาดของปลาด้วย อย่างไรก็ตามยังไม่มีรายงานเกณฑ์มาตรฐานที่แน่ชัดของค่า BCF จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้นอาจเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการเลือกบริโภคปลาต่อไป

ตารางที่ 5 ค่า Bioconcentration Factor (BCF) ในเนื้อปลาในอ่างเก็บน้ำห้วยแก่ง จังหวัดกาฬสินธุ์

ประเภท	ชนิด	BCF			
		สังกะสี	ทองแดง	แคดเมียม	ตะกั่ว
ปลากินพืช	ปลาแขยงนวล	1073.21	nd.	69.47	8.04
	ปลาหมอ	569.53	nd.	26.21	nd.
	ปลาสร้อย	1595.37	nd.	50.53	10.80
	ปลาบู่	632.21	nd.	9.47	2.01
ปลากินเนื้อ	ปลาสล่อนกเขา	809.84	61.46	19.58	19.62
	ปลานิล	1,072.42	nd.	48.95	18.22
	ปลาช่อน	605.05	nd.	18.32	4.03
	ปลาสล่อนกเขา	3,013.74	nd.	2,508.95	184.97

สรุปผลการศึกษา

การปนเปื้อนของโลหะหนักในแหล่งน้ำมีผลกระทบโดยตรงต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำ โดยเฉพาะปลาซึ่งเป็นสัตว์ที่ได้รับความนิยมนำมาบริโภค จากการศึกษาการปนเปื้อนของโลหะหนัก 4 ชนิด ได้แก่ สังกะสี ทองแดง แคดเมียม และตะกั่ว ในน้ำ ตะกอนดิน และอวัยวะส่วนต่างๆ ของปลา 8 ชนิด ทั้ง ปลากินพืชและปลากินเนื้อ ผลการศึกษาการปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำและตะกอนดินพบปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานกำหนด ส่วนการปนเปื้อนของโลหะหนักในปลา หากรวมทุกอวัยวะพบว่า ปลาทุกชนิดมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานกำหนด หากพิจารณาเฉพาะส่วนเนื้อซึ่งเป็นส่วนที่นิยมนำมาบริโภคพบว่า ในเนื้อของปลาทุกชนิดมีปริมาณการสะสมของแคดเมียมและตะกั่วเกินเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดโดยประกาศกระทรวงสาธารณสุข (Announcement of Ministry of Public Health, Issue 98, 1986) และสหภาพยุโรป (European Commission Regulation, No.881, 2006) กำหนดให้มีปริมาณโลหะหนักในเนื้อปลามีแคดเมียมไม่เกิน 0.05 มก./กก และตะกั่วไม่เกิน 0.3-1 มก./กก. โดยโลหะหนักทั้ง 2 ชนิดนี้มีค่าการสะสมทางชีวภาพ (BCF) ในเนื้อปลาที่สูงด้วยเช่นกัน ซึ่งปริมาณโลหะหนักที่มีการสะสมในปลามากจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้บริโภคอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ผลการศึกษานี้เป็นข้อมูลที่สำคัญในการสร้างความตระหนักทั้งในเรื่องการจัดการปัญหาสิ่งแวดล้อมและการดูแลสุขภาพของประชาชน จึงควรมีการเผยแพร่ข้อมูลสู่สาธารณะเพื่อใช้ประกอบการพิจารณาตัดสินใจเลือกซื้ออาหารเพื่อบริโภค รวมทั้งยังเป็นแนวทางในการส่งเสริมให้เกษตรกรตระหนักและลดการใช้สารเคมี เช่น ยากำจัดวัชพืชและศัตรูพืช ปุ๋ยเคมี เป็นต้น หรือควรมีการตรวจติดตามการปนเปื้อนของสารเคมีอย่างสม่ำเสมอ เพื่อหาแนวทางป้องกันและจัดการต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- Agunbiade, F. O., Olu-Owolabi, B. I. & Adebawale, K. O. (2009). Phytoremediation potential of *Eichornia crassipes* in metal-contaminated coastal water. *Bioresource Technology*, 100(19), 4521 – 4526.
- Announcement of Ministry of Public Health, Issue 98 (1986). Standard for Contaminants in Foods. [In Thai]. In *Royal Government Gazette*, 103, Part 23, dated February 16, 1986. Ministry of Public Health, Thailand.
- Announcement of the National Environment Committee, Issue 8 (1994). Surface Water Quality Standards [In Thai]. In *Royal Government Gazette*, 111, Part 16 Ngor, dated February 24, 1994 (pp. 234 – 240). National Environment Committee, Thailand.
- Announcement of the National Environment Committee, Issue 25 (2004). Soil Quality Standards. [In Thai]. In *Royal Government Gazette*, 121, Special Part 119 Ngor, dated October 20, 2004 (pp. 170 – 181). National Environment Committee, Thailand.
- Canli, M. & Atli, G. (2003). The relationships between heavy metal (Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Zn) levels and the size of six Mediterranean fish species. *Environmental Pollution*, 121(1), 129 – 136.
- Chi, Q., Zhu, G. & Langdon, A. (2007). Bioaccumulation of heavy metals in fishes from Taihu Lake, China. *Journal of Environmental Sciences*, 19(12), 1500 – 1504.
- Crookes, M. & Brooke, B. (2011). *Estimation of fish bioconcentration factor (BCF) from depuration data*. UK, Environment Agency.
- Dural, M., Goksu, M. Z. L. & 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.
- European Commission Regulation, No.881, (2006). Setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. In *Official Journal of the European Union* L364, dated December 19, 2006 (pp. 5 – 24). European Commission, European Union.
- Keepax, R. E., Moyes, L. N., Livens, F. R. (2011). Speciation of heavy metals and radioisotopes. In S. Aleksandar (Ed.), *Environmental and Ecological Chemistry*, Volume II, Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS) (pp. 165 – 199). Retrieved from <http://www.eolss.net/SampleChapters/C06/E6-13-03-05.pdf>
- Manahan, S. E. (1992). *Toxicological chemistry*. 2nd ed. USA, Lewis Publishers, INC.
- Modaihsh, A. S., Al-Swailem, M. S. & 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.
- Pyle, G. G., Rajotte, J. W. & Couture, P. (2005). Effects of industrial metals on wild fish populations along a metal contamination gradient. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 61(3), 287 – 312.

- Rajkowska, M. & Protasowicki, M. (2013). Distribution of metals (Fe, Mn, Zn, Cu) in fish tissues in two lakes of different trophic levels in Northwestern Poland. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185(4), 3493 – 3502.
- Rashed, M. N. (2001). Monitoring of environmental heavy metals in fish from Nasser Lake. *Environment International*, 27(1), 27 – 33.
- Rauf, A., Javed, M. & Ubaidullah, M. (2009). Heavy metal levels in three major carps (*Catla catla*, *Labeo rohita* and *Cirrhina mrigala*) from the River Ravi, Pakistan. *Pakistan Veterinary Journal*, 29(1), 24 – 26.
- Roméo, M., Siau, Y., Sidoumou, Z. & Gnassia-Barelli, M. (1999). Heavy metal distribution in different fish species from the Mauritania coast. *Science of The Total Environment*, 232(3), 169 – 175.
- Tanee, T., Chaveerach, A., Narong, C., Pimjai, M., Punsombut, P. & 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. & 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. & 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.