

การสะสมทางชีวภาพของโลหะหนักในปลาเศรษฐกิจบางชนิดจากบ้านบางบ่อ  
จังหวัดสมุทรสงคราม

Heavy Metal Bioaccumulation in Some Economic Fishes from Ban Bang Bo,  
Samut Songkhram Province

พรหมพร พิมจ่อง,<sup>1</sup> ศิริประภา เปรมเจริญ<sup>1\*</sup> และ พิเชษฐ อหุรักษ์อุดม<sup>1</sup>  
Promporn Pimjong, <sup>1</sup> Siraprapha Premcharoen<sup>1\*</sup> and Piched Anuragudom<sup>1</sup>

Received 5 August 2024, Revised 13 September 2024, Accepted 13 September 2024

ABSTRACT

The aim of the present study was to analyze heavy metal bioaccumulation (Cd, Cu, Pb and Zn) in gill, liver, and muscle of Greenback mullet (*Liza subviridis*), Fourfinger threadfin (*Eleutheronema tetradactylum*), Short-bodied mackerel (*Rastrelliger brachysoma*), and Narrow-barred Spanish mackerel (*Scomberomorus commerson*), which were collected using gill net from Ban Bang Bo, Samut Songkhram Province. Zn accumulation showed the highest in Short-bodied mackerel's gills (52.762 mg/kg), while Cu accumulation showed the highest in Greenback mullet's liver (24.275 mg/kg). Cd and Pb were not detected in any of the fish examined. Cu and Zn, mostly exhibited the accumulation in liver and gills, however muscle possessed the lowest accumulation of all metals and was prone to be strongest in Narrow-barred Spanish mackerel. The level of Cu showed the highest accumulation significantly in liver ( $p<0.05$ ). Based on the results, the level of Cu and Zn in muscle were below the maximum permissible limits of Ministry of Public Health of Thailand and the European Commission Regulation guideline values and safe for consumers.

**Keywords:** Bioaccumulation, Heavy metal, Economic fish, Ban Bang Bo

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์การสะสมทางชีวภาพของ แคดเมียม ทองแดง ตะกั่ว และสังกะสี ที่สะสมอยู่ใน เหงือก ตับ และเนื้อ ของปลากระบอกดำ (Greenback mullet, *Liza subviridis*) ปลาเก๋า (Fourfinger threadfin, *Eleutheronema tetradactylum*) ปลาทู (Short-bodied mackerel, *Rastrelliger brachysoma*) และปลาอินทรีบัง (Narrow-barred Spanish mackerel, *Scomberomorus commerson*) ที่เก็บรวบรวมจากอวนลอย บริเวณบ้านบางบ่อ จังหวัดสมุทรสงคราม ผลจากการวิเคราะห์ปริมาณของโลหะหนักที่สะสม พบสังกะสีมีการสะสมสูงสุดในเหงือกของปลาทู (52.762 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ส่วนทองแดงมีการสะสมสูงสุดในตับของ

<sup>1\*</sup> ภาควิชาวิทยาศาสตร์และนวัตกรรมชีวภาพ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน  
ด.กำแพงแสน อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

Department of Science and Bioinnovation, Faculty of Liberal Arts and Science, Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus,  
Kamphaeng Saen, Kamphaeng Saen, Nakhon Pathom 73140, Thailand.

\*Corresponding author: E-mail address: siraprapha.p@ku.ac.th

ปลากระบอกดำ (24.275 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ตรวจไม่พบแคดเมียมและตะกั่วในตัวอย่างปลาที่นำมาศึกษาครั้งนี้ ทองแดงและสังกะสีส่วนใหญ่มีการสะสมในตับและเหงือก ส่วนเนื้อพบการสะสมน้อยที่สุดโดยมีแนวโน้มการสะสมมากที่สุด ปลาอินทรีบั้ง ปริมาณการสะสมของโลหะหนักในอวัยวะส่วนต่าง ๆ ของปลาทุกชนิดที่ทำการศึกษา พบว่าทองแดงมีการสะสมในตับสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) ปริมาณทองแดงและสังกะสีที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ในเนื้อปลา ต่ำกว่ามาตรฐานกำหนดของกระทรวงสาธารณสุขและของสหภาพยุโรป ซึ่งปลอดภัยต่อผู้บริโภค

**คำสำคัญ:** การสะสมทางชีวภาพ โลหะหนัก ปลาเศรษฐกิจ บ้านบางป่อ

### บทนำ

มลพิษในแหล่งน้ำที่มาจากการปนเปื้อนของโลหะหนักเป็นปัญหาที่พบได้ทั่วโลก โดยเฉพาะผลกระทบต่อสัตว์น้ำที่อาศัยในบริเวณแหล่งน้ำนั้น ๆ (Kosgei *et al.*, 2019) โลหะหนักบางชนิดให้ทั้งคุณและโทษต่อสิ่งมีชีวิต อีกทั้งเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดการสะสมทางชีวภาพ โลหะหนักแตกต่างจากธาตุทั่วไปคือมีความคงตัว ไม่สามารถสลายตัวได้ในกระบวนการธรรมชาติ (ศุภลักษณ์, 2557) โลหะหนักจึงสามารถแทรกซึมและสะสมในสิ่งแวดล้อม โดยพบมีการปนเปื้อนของโลหะหนัก ในแหล่งน้ำ ดินตะกอน ในพืช ในสัตว์ โดยเฉพาะสัตว์น้ำเศรษฐกิจอย่างเช่นปลาที่นิยมนำมาบริโภคหลายชนิด การสะสมของโลหะหนักจะเพิ่มสูงขึ้นตามห่วงโซ่อาหาร โดยเฉพาะในระบบนิเวศทางทะเลที่มีความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตมาก มีความซับซ้อนของห่วงโซ่อาหาร ดังนั้นปริมาณโลหะหนักที่มีอยู่ในสัตว์น้ำสามารถเป็นตัวบ่งชี้สภาวะแวดล้อมนั้น ๆ ได้ (สมชาย และคณะ, 2549; ภัทรารุณ และคณะ, 2562) หากมีปริมาณความเข้มข้นที่สูงมาก ก็จะเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำที่อาศัยอยู่บริเวณนั้น และผู้ที่นำสัตว์น้ำชนิดนั้นมาบริโภคก็อาจจะได้รับอันตราย

การรั่วไหลและปนเปื้อนของโลหะหนักในแหล่งน้ำเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ การพัฒนาเทคโนโลยี การขยายตัวของภาคอุตสาหกรรม ทำให้มีการปล่อยของเสียออกสู่สิ่งแวดล้อมเกินขีดจำกัด โดยเฉพาะในพื้นที่บริเวณชายฝั่งทะเล ที่ส่วนใหญ่มีสภาพเป็นดินตะกอนซึ่งถือได้ว่าเป็นแหล่งสะสมสารพิษ โดยทั่วไปในธรรมชาติจะพบโลหะหนักที่มีการสะสมได้แก่ ทองแดง (Cu) สังกะสี

(Zn) เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) โครเมียม (Cr) และนิกเกิล (Ni) ซึ่งเป็นแร่ธาตุที่จำเป็นและมีความสำคัญต่อกระบวนการเมแทบอลิซึมในร่างกาย โดยมีความต้องการในปริมาณน้อยและการสะสมในร่างกายก็มีขีดจำกัด ในขณะที่โลหะหนักบางชนิด ได้แก่ ตะกั่ว (Pb) แคดเมียม (Cd) และปรอท (Hg) พบว่าไม่มีความสำคัญในกระบวนการต่าง ๆ ของสิ่งมีชีวิต (Sawyer *et al.*, 2003; Kosgei *et al.*, 2019) โดยที่มนุษย์มีการนำโลหะหนักเหล่านี้ มาใช้เป็นวัตถุดิบและส่วนประกอบหรือตัวกระตุ้นในกระบวนการผลิตต่าง ๆ ของภาคอุตสาหกรรม บริเวณพื้นที่ชายฝั่งปากแม่น้ำแม่กลอง จังหวัดสมุทรสงคราม เป็นพื้นที่หนึ่งที่มีการพัฒนาอุตสาหกรรมและเศรษฐกิจอย่างรวดเร็ว โรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ที่ตั้งอยู่บริเวณนี้ส่วนใหญ่จะเป็นโรงงานอุตสาหกรรมประเภทแปรรูปอาหารที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมประมง นอกจากนี้ยังมีโรงงานอุตสาหกรรมผลิตยานพาหนะและอุปกรณ์ และโรงงานอุตสาหกรรมผลิตโลหะ โดยที่มลพิษทางน้ำส่วนใหญ่จะมาจากโรงงานเหล่านี้ (สำนักอุตสาหกรรมจังหวัดสมุทรสงคราม, 2552; ชัยพฤกษ์, 2553) อีกทั้งมีการเพิ่มขึ้นของประชากรและแหล่งที่อยู่อาศัยในบริเวณนี้ ประชากรส่วนใหญ่มีอาชีพทำเกษตรกรรมและการประมง สำหรับพื้นที่บ้านบางป่อ ตำบลบางแก้ว ประชากรส่วนใหญ่ประมาณร้อยละ 50 มีอาชีพหลักคือการประมงชายฝั่งขนาดเล็กและจับสัตว์น้ำ นอกจากนี้ยังมีการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ในภาคอุตสาหกรรมนั้นส่วนใหญ่เป็นอุตสาหกรรมขนาดเล็กที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมการประมง ได้แก่ อุตสาหกรรมผลิตน้ำปลา อุตสาหกรรมอาหาร และอุตสาหกรรมแปรรูปสัตว์น้ำ (ศุภกาญจน์, 2565) เมื่อมี

การทิ้งขยะกากอุตสาหกรรม โดยไม่มีการบำบัดและการกำจัดอย่างถูกวิธีจึงมีผลทำให้เกิดสารพิษและโลหะหนักปนเปื้อนในธรรมชาติ ส่งผลกระทบหลักต่อทรัพยากรชายฝั่งและสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ สำหรับสัตว์น้ำ เมื่อได้รับสารปนเปื้อนเหล่านี้ในปริมาณมาก จะเกิดอันตรายต่อระบบร่างกายได้ เช่น ระบบประสาทส่วนกลาง และสามารถสะสมโลหะหนักไว้ในเนื้อเยื่อโดยผ่านทางห่วงโซ่อาหาร จากการกินต่อกันเป็นทอด ๆ จากผู้ผลิตสู่ผู้บริโภคลำดับต่าง ๆ ซึ่งทำที่สุดก็คือมนุษย์ ดังนั้นการบริโภคอาหารที่มีโลหะหนักอยู่สูงเกินระดับมาตรฐาน อาจทำให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภคได้ การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณการสะสมทางชีวภาพของโลหะหนักที่มักพบปนเปื้อนในบริเวณชายฝั่งทะเล ได้แก่ แคดเมียม ทองแดง ตะกั่ว และสังกะสี ในปลากระบอกดำ ปลาเกะ ปลาทุ และปลาอินทรีบั้ง ที่รวบรวมจากบริเวณบ้านบางบ่อ ตำบลบางแก้ว อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสงคราม ปลากลุ่มนี้จัดเป็นปลาเศรษฐกิจที่ทำรายได้ให้กับประมงพื้นบ้านในพื้นที่ ข้อมูลพื้นฐานจากการศึกษาครั้งนี้สามารถนำมาประเมินความเสี่ยงจากการที่ผู้บริโภค บริโภคปลาที่มีสารปนเปื้อนของโลหะหนัก และเพื่อนำไปพัฒนาแนวทางการวางแผนในการป้องกัน แก้ไขปัญหา และการจัดการแหล่งน้ำในพื้นที่ต่อไป

### อุปกรณ์และวิธีการ

#### การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ตัวอย่าง

ทำการเก็บตัวอย่างปลากระบอกดำ ปลาเกะ ปลาทุ และปลาอินทรี ชนิดละ 4-8 ตัว ที่จับได้จากอวนลอย บริเวณบ้านบางบ่อล่าง จังหวัดสมุทรสงคราม ในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2566 นำตัวอย่างกลับมาที่ห้องปฏิบัติการเพื่อเก็บรักษาไว้ในตู้แช่แข็งอุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อรอการวิเคราะห์ในลำดับต่อไป

นำตัวอย่างที่เก็บไว้ มาทำให้ละลายโดยการวางไว้ในอุณหภูมิห้องโดยไม่ให้สัมผัสกับน้ำโดยตรง วัดขนาด ความยาว และน้ำหนัก จากนั้นผ่าแยกเอาอวัยวะส่วนต่าง ๆ ได้แก่ เหงือก ตับ และเนื้อ นำอวัยวะแต่ละส่วนมาแยกบดให้เป็นเนื้อเดียวกัน อบ

ตัวอย่างแต่ละส่วนที่อุณหภูมิ 105-107 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง ซึ่งตัวอย่างที่อบแล้วปริมาณ 1 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ เติมน้ำผสมกรดไนตริก: ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (1:1) 15 มิลลิลิตร ย่อยตัวอย่างที่ความร้อน 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30-45 นาที บน hotplate จนเป็นของเหลวใสไม่มีตะกอนทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นนำไปกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 ทำการปรับปริมาตรในขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask) ให้ได้ 25 มิลลิลิตรด้วย 2% กรดไนตริก ( $\text{HNO}_3$ ) เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักตามวิธีของ Association of Analytical Communities: AOAC (2000) ด้วยเครื่อง Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy (ICP-OES) (PerkinElmer Optima 2000 DV) โดยในทุกกรอบของการย่อยตัวอย่าง จะทำการย่อยโดยไม่ใช้ตัวอย่าง (blank) ด้วยวิธีการเดียวกันกับการย่อยตัวอย่าง เพื่อควบคุมคุณภาพในการวิเคราะห์

#### การวิเคราะห์ข้อมูล

ทำการสร้างกราฟมาตรฐาน (Standard calibration curve) โลหะหนักโดยการกำหนดแกน X เป็นค่าความเข้มข้น (intensity) สารละลายมาตรฐานโลหะหนัก (หน่วยเป็น mg/L หรือ ppm) และแกน Y เป็นค่าความเข้มข้นของสารละลายของโลหะหนักที่ต้องการจะวิเคราะห์ได้แก่แคดเมียม ทองแดง ตะกั่ว และสังกะสี ที่ความเข้มข้น 0.00250, 0.05000, 1.00000 และ 2.50000 ppm ชีตจำกัดการตรวจจับ Limit of Detection (LOD) สำหรับแคดเมียม ทองแดง ตะกั่ว และสังกะสี คือ 0.040 มิลลิกรัม/กิโลกรัม, 0.002 มิลลิกรัม/กิโลกรัม, 0.161 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และ 0.026 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ พิจารณาค่าเฉลี่ยปริมาณโลหะหนักที่คำนวณได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICP-OES

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยหาค่าต่ำสุด (Minimum) ค่าสูงสุด (Maximum) ค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของข้อมูล และเปรียบเทียบปริมาณแคดเมียม ทองแดง ตะกั่ว และสังกะสี ที่สะสมอยู่ในอวัยวะส่วนต่าง ๆ ของปลา ได้แก่ เหงือก ตับ และเนื้อ โดยใช้การวิเคราะห์

ความแปรปรวนทางเดียว (one-way ANOVA) โปรแกรม Minitab Statistical Software ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $p \leq 0.05$ ) ทดสอบความแปรปรวนด้วย Tukey's multiple comparison test

#### ผล

#### ปริมาณโลหะหนักในอวัยวะส่วนต่าง ๆ ของปลากระบอกดำ ปลาทุรา ปลาทุ และปลาอินทรีบั้ง

จากตัวอย่างปลากระบอกดำจำนวน 7 ตัว มีน้ำหนักตัวระหว่าง 57.92-97.86 กรัม น้ำหนักเฉลี่ย 78.76 กรัม ความยาวระหว่าง 17.00-20.50 เซนติเมตร ความยาวเฉลี่ย 19.10 เซนติเมตร ปลาทุราจำนวน 4 ตัว น้ำหนักตัวอยู่ระหว่าง 96.63-333.43 กรัม น้ำหนักเฉลี่ย 165.62 กรัม ความยาวระหว่าง 22.00-33.00 เซนติเมตร ความยาวเฉลี่ย 25.63 เซนติเมตร ปลาทุจำนวน 8 ตัว น้ำหนักตัวระหว่าง 67.23-97.27 กรัม น้ำหนักเฉลี่ย 80.19 กรัม ความยาวระหว่าง 15.50-19.50 เซนติเมตร ความยาวเฉลี่ย 18.46 เซนติเมตร ปลาอินทรีบั้งจำนวน 6 ตัว น้ำหนักตัวระหว่าง 82.40-183.00 กรัม น้ำหนักเฉลี่ย 123.05 กรัม ความยาวระหว่าง 22.50-31.00 เซนติเมตร ความยาวเฉลี่ย 26.00 เซนติเมตร

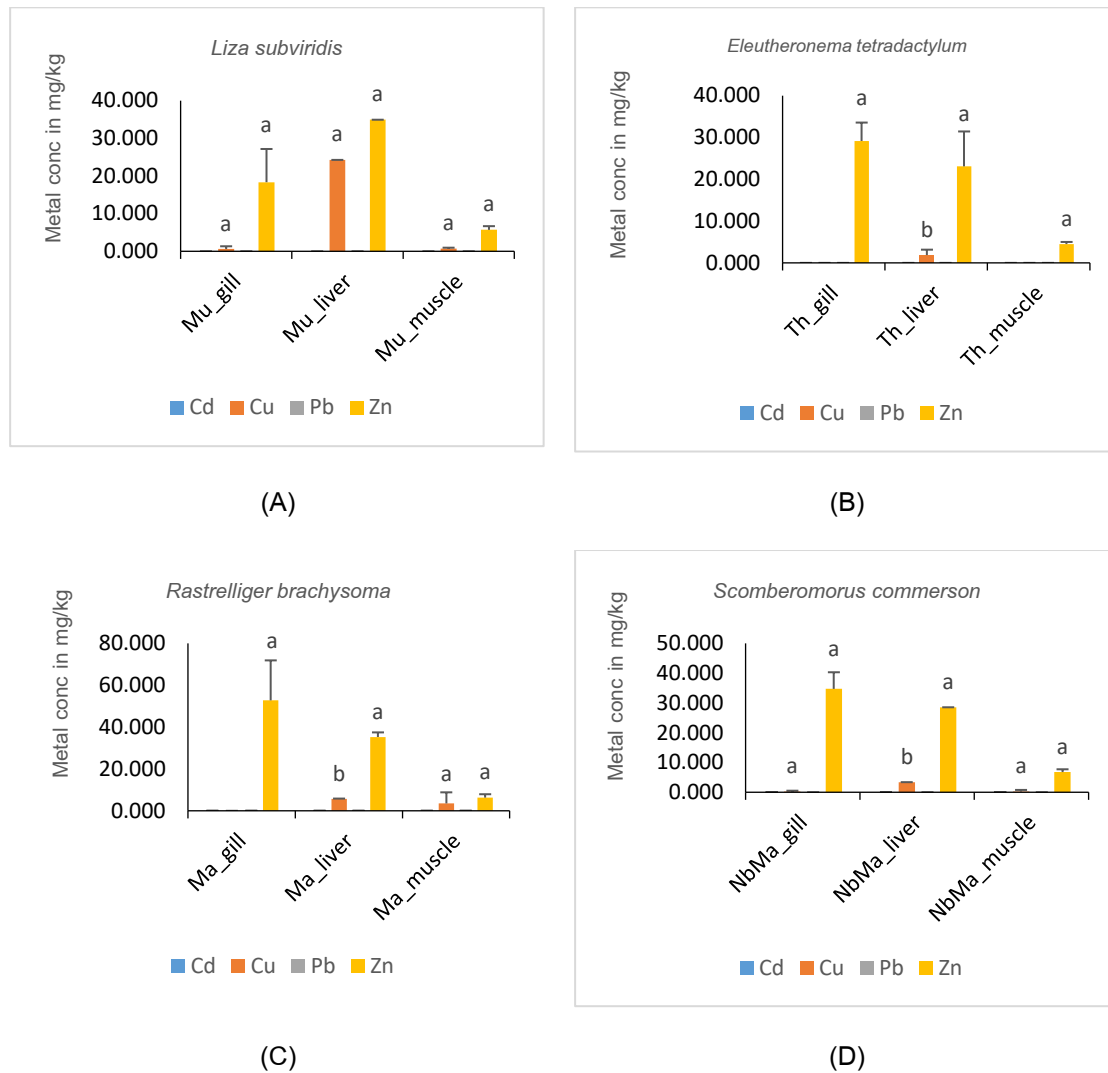
ผลจากการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก 4 ชนิด คือ แคดเมียม (Cd) ทองแดง (Cu) ตะกั่ว (Pb) และสังกะสี (Zn) ในอวัยวะส่วนต่าง ได้แก่ เหงือก ตับ และเนื้อ ๆ ของตัวอย่างปลาที่นำมาศึกษา ในปลากระบอกดำ พบว่าทองแดงมีการสะสมในตับมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 24.275 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

โดยมีการสะสมในอวัยวะส่วนต่าง ๆ ดังนี้ ตับ > เนื้อ > เหงือก สังกะสีมีการสะสมในตับมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 34.948 มิลลิกรัม/กิโลกรัม โดยมีการสะสมในอวัยวะส่วนต่าง ๆ ตามลำดับดังนี้ ตับ > เหงือก > เนื้อ (Table 1 and Figure 1 (A)) ในปลาทุรา พบทองแดงมีการสะสมในตับมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $1.864 \pm 1.307$  มิลลิกรัม/กิโลกรัม ส่วนการสะสมในเหงือกและเนื้อตรวจไม่พบทองแดง สังกะสีมีการสะสมในเหงือกมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $29.164 \pm 4.402$  มิลลิกรัม/กิโลกรัม โดยมีการสะสมในอวัยวะส่วนต่าง ๆ ตามลำดับดังนี้ เหงือก > ตับ > เนื้อ (Table 1 and Figure 1 (B)) ในปลาทุ พบทองแดงมีการสะสมในตับมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $5.628 \pm 0.208$  มิลลิกรัม/กิโลกรัม โดยมีการสะสมในตับมากกว่าเนื้อ ส่วนในเหงือกตรวจไม่พบทองแดง สังกะสีมีการสะสมในเหงือกมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $52.762 \pm 19.109$  มิลลิกรัม/กิโลกรัม โดยมีการสะสมในอวัยวะต่าง ๆ ตามลำดับ ดังนี้ เหงือก > ตับ > เนื้อ (Table 1 and Figure 1 (C)) และในปลาอินทรีบั้ง พบทองแดงมีการสะสมโลหะหนักในตับมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 3.387 มิลลิกรัม/กิโลกรัม โดยมีการสะสมในอวัยวะต่าง ๆ ตามลำดับดังนี้ ตับ > เนื้อ > เหงือก สังกะสีมีการสะสมในเหงือกมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $34.710 \pm 5.587$  มิลลิกรัม/กิโลกรัม โดยมีการสะสมในอวัยวะต่าง ๆ ตามลำดับดังนี้ เหงือก > ตับ > เนื้อ (Table 1 and Figure 1 (D)) แคดเมียมและตะกั่วตรวจไม่พบในทุกส่วนของอวัยวะทั้ง เหงือก ตับ และเนื้อ ในตัวอย่างปลาทุทุกชนิดที่นำมาศึกษาครั้งนี้

**Table 1** The mean  $\pm$  SD of heavy metal content (mg/kg) in different organs of *Liza subviridis*, *Eleutheronema tetradactylum*, *Rastrelliger brachysoma*, and *Scomberomorus commerson* from Ban Bang Bo, Samut Songkhram Province

| Mean $\pm$ SD in wet weight of heavy metal content (mg/kg) |        |    |                   |    |                     |
|------------------------------------------------------------|--------|----|-------------------|----|---------------------|
| Species                                                    | Organs | Cd | Cu                | Pb | Zn                  |
| <i>Liza subviridis</i>                                     | Gills  | ND | 0.594 $\pm$ 0.743 | ND | 18.350 $\pm$ 8.824  |
|                                                            | Liver  | ND | 24.275            | ND | 34.948              |
|                                                            | Muscle | ND | 0.703 $\pm$ 0.257 | ND | 5.702 $\pm$ 0.975   |
| <i>Eleutheronema tetradactylum</i>                         | Gills  | ND | ND                | ND | 29.164 $\pm$ 4.402  |
|                                                            | Liver  | ND | 1.864 $\pm$ 1.307 | ND | 23.085 $\pm$ 8.358  |
|                                                            | Muscle | ND | ND                | ND | 4.500 $\pm$ 0.507   |
| <i>Rastrelliger brachysoma</i>                             | Gills  | ND | ND                | ND | 52.762 $\pm$ 19.109 |
|                                                            | Liver  | ND | 5.628 $\pm$ 0.208 | ND | 35.260 $\pm$ 2.208  |
|                                                            | Muscle | ND | 3.524 $\pm$ 5.297 | ND | 6.292 $\pm$ 1.629   |
| <i>Scomberomorus commerson</i>                             | Gills  | ND | 0.199 $\pm$ 0.321 | ND | 34.710 $\pm$ 5.587  |
|                                                            | Liver  | ND | 3.387             | ND | 28.539              |
|                                                            | Muscle | ND | 0.257 $\pm$ 0.520 | ND | 6.768 $\pm$ 0.940   |

Note: ND (Not detected)



**Figure 1** Concentration of heavy metals (Cd, Cu, Pb and Zn) in different organs of (A) *Liza subviridis* (B) *Eleutheronema tetradactylum* (C) *Rastrelliger brachysoma*, and (D) *Scomberomorus commerson* from Ban Bang Bo, Samut Songkhram Province. Values are statistically significant at  $p < 0.05$ . Values that do not share the same superscript letter (a-b) are significantly different.

### เปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในอวัยวะส่วนต่าง ๆ ของปลากะบอกดำ ปลาเกะรา ปลาทุ และปลาอินทรีบั้ง

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในอวัยวะส่วนต่าง ๆ ของตัวอย่างปลาที่นำมาศึกษา พบว่าปลากะบอกดำ ในเหงือกพบการสะสมของสังกะสีมากกว่าทองแดง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $18.350 \pm 8.824$  และ  $0.594 \pm 0.743$  มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ ในขณะที่การสะสมโลหะหนักในตับ พบการสะสมของสังกะสีมากกว่าทองแดง มีค่าเท่ากับ  $34.948$  และ  $24.275$  มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนการสะสม

โลหะหนักในเนื้อ พบการสะสมของสังกะสีมากกว่าทองแดงเช่นเดียวกัน โดยมีค่าเฉลี่ย  $5.702 \pm 0.975$  และ  $0.703 \pm 0.257$  มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่าทางสถิติพบว่า ปริมาณการสะสมของสังกะสีและทองแดงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) ทั้งในเหงือก ตับ และเนื้อ ทองแดงพบมีการสะสมในระดับสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) และตรวจไม่พบแคดเมียมและตะกั่วในอวัยวะทุกส่วนของตัวอย่างปลาที่นำมาศึกษา (Table 1)

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในอวัยวะส่วนต่าง ๆ ของปลาเกะรา พบการสะสมของปริมาณ

โลหะหนักในเหงือกมีการสะสมของสังกะสีสูงที่สุด ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $29.164 \pm 4.402$  มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตรวจไม่พบ แคดเมียม ทองแดง และตะกั่ว ในขณะที่ปริมาณการสะสมโลหะหนักในตับพบว่าการสะสมของสังกะสีมากกว่าทองแดง ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $23.085 \pm 8.358$  และ  $1.864 \pm 1.307$  มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่าทางสถิติพบว่า ปริมาณการสะสมของโลหะหนักระหว่างสังกะสีกับทองแดงในตับแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) และปริมาณการสะสมของโลหะหนักในเนื้อพบว่าการสะสมของสังกะสีสูงที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $4.500 \pm 0.507$  มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตรวจไม่พบ ทองแดง ในเหงือกและเนื้อ และตรวจไม่พบแคดเมียมและตะกั่ว ในอวัยวะทุกส่วนของตัวอย่างปลาที่นำมาศึกษา (Table 1)

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในอวัยวะส่วนต่าง ๆ ของปลาทุก พบมีการสะสมของปริมาณโลหะหนักในเหงือกมีการสะสมของสังกะสีสูงที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $52.762 \pm 19.109$  มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตรวจไม่พบแคดเมียม ตะกั่ว และทองแดง ในขณะที่ปริมาณการสะสมโลหะหนักในตับจะมีการสะสมของสังกะสีมากกว่า ทองแดง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $35.260 \pm 2.208$  และ  $5.628 \pm 0.208$  มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่าทางสถิติพบว่าปริมาณสะสมของโลหะหนักระหว่างสังกะสีกับทองแดงในตับแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) และปริมาณการสะสมโลหะหนักในเนื้อพบว่าการสะสมของสังกะสีสูงที่สุด รองลงมาคือทองแดง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $6.292 \pm 1.629$  และ  $3.524 \pm 5.297$  มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่าทางสถิติพบว่าปริมาณสะสมของทองแดงและสังกะสีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) (Table 1) และตรวจไม่พบ แคดเมียมและตะกั่วในอวัยวะทุกส่วนของตัวอย่างปลาที่นำมาศึกษา

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในอวัยวะต่าง ๆ ของปลาอินทรีบั้ง พบปริมาณการสะสมของสังกะสีสูงที่สุดในเหงือก รองลงมาคือทองแดง มี

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $34.710 \pm 5.587$  และ  $0.199 \pm 0.321$  มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่าทางสถิติพบว่าปริมาณสะสมของสังกะสีและทองแดง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) ในขณะที่การสะสมในตับพบว่าการสะสมของสังกะสีมากกว่าทองแดง มีค่าเท่ากับ  $28.539$  และ  $3.387$  มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่าทางสถิติพบว่า ปริมาณการสะสมของสังกะสีกับทองแดงในตับแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ในส่วนของการสะสมปริมาณโลหะหนักของเนื้อพบว่าการสะสมของสังกะสีมากกว่าทองแดงเช่นกัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $6.768 \pm 0.940$  และ  $0.257 \pm 0.520$  มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่าทางสถิติพบว่าปริมาณของสังกะสีและทองแดงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) (Table 1) ทั้งในเหงือกตับ และเนื้อ และตรวจไม่พบแคดเมียมและตะกั่วในอวัยวะทุกส่วนของตัวอย่างปลาที่นำมาศึกษา

### วิจารณ์ผล

**ปริมาณโลหะหนักในอวัยวะส่วนต่าง ๆ ของปลากระบอกดำ ปลาเกะ ปลาทุ และปลาอินทรีบั้ง**

ผลจากการวิเคราะห์ปริมาณการสะสมของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดคือ แคดเมียม (Cd) ทองแดง (Cu) ตะกั่ว (Pb) และสังกะสี (Zn) ในอวัยวะส่วนต่าง ๆ ได้แก่ เหงือก ตับ และเนื้อ ของปลากระบอกดำ (Greenback mullet, *Liza subviridis*) ปลาเกะ (Fourfinger threadfin, *Eleutheronema tetradactylum*) ปลาทุ (Short-bodied mackerel, *Rastrelliger brachysoma*) และปลาอินทรีบั้ง (Narrow-barred Spanish mackerel, *Scomberomorus commerson*) พบว่าสังกะสี มีปริมาณการสะสมในอวัยวะส่วนต่าง ๆ ในปลาทั้งสี่ชนิดมากที่สุด โดยพบสะสมมากที่สุดในเหงือกของปลาทุ ( $52.762 \pm 19.109$  มิลลิกรัม/กิโลกรัม) รวมทั้งมีการสะสมในตับและเนื้อของปลาทุกชนิดที่นำมาศึกษา สอดคล้องกับรายงานทบทวนวรรณกรรมวิจัยของ Jezierska & Witeska (2006) ที่เกี่ยวข้องการรับและสะสมโลหะหนักในปลาที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำที่มีมลพิษในหลายพื้นที่ ได้รายงานระดับปริมาณของ

โลหะหนักที่สะสมในปลามักจะเรียงตามลำดับดังนี้  $\text{Fe} > \text{Zn} > \text{Pb} > \text{Cu} > \text{Cd} > \text{Hg}$  โดยระดับความเข้มข้นของสังกะสีอาจพบสูงมากกว่า 300 ไมโครกรัมต่อกรัมของน้ำหนักแห้ง การที่พบปริมาณสังกะสีสูงกว่าโลหะหนักชนิดอื่น อาจเนื่องจากสังกะสีเป็นโลหะหนักที่มีองค์ประกอบโครงสร้างของโปรตีนที่เรียกว่าเมทัลโลโปรตีน (metalloprotein) เป็นกลุ่มโปรตีนพวเคนไซม์ที่มีการจับตัวกับไอออนของโลหะที่จำเป็นต่อกระบวนการเมแทบอลิซึมในปลา ดังนั้นปลาจะมีการรับและเก็บสังกะสีไว้ในร่างกาย สังกะสีมีหน้าที่สำคัญในการควบคุมทำงานของเซลล์ โดยทำหน้าที่เป็นโคแฟกเตอร์ในการทำงานของเอนไซม์มากกว่า 200 ชนิด (Watanabe *et al.*, 1997) ที่ทำให้กระบวนการต่าง ๆ ภายในเซลล์เป็นไปอย่างปกติ เช่นเอนไซม์คาร์บอนิกแอนไฮเดรส (Carbonic anhydrase) มีสังกะสีเป็นองค์ประกอบประมาณ 0.33 เปอร์เซ็นต์ เป็นเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการพาคาร์บอนไดออกไซด์จากเซลล์มายังปอด และช่วยรักษาสสมดุลความเป็นกรด-ด่างของของเหลวภายในร่างกาย แต่ถ้ามีการสะสมของสังกะสีในปริมาณที่มากเกินไป อาจส่งผลต่อการทำงานของเซลล์ได้เช่นกัน เนื่องจากกลไกความเป็นพิษของสังกะสีนั้น เป็นประจุบวกสองขั้ว ซึ่งจะรบกวนการดูดซึมของแคลเซียมไอออนในเนื้อเยื่อ เสี่ยงต่อการเกิดภาวะแคลเซียมในเลือดต่ำและทำให้ปลาตายได้ (Garai *et al.*, 2021) ทองแดงเป็นโลหะหนักที่พบในปริมาณที่รองลงมาจากสังกะสี โดยพบสะสมมากที่สุดในระดับของปลากระบอกดำ (24.275 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ทองแดงเป็นโลหะหนักปริมาณน้อยอีกตัวหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการสังเคราะห์ฮีโมโกลบิน การเจริญเติบโตและพัฒนาการของโครงสร้างกระดูก และกระบวนการเผาผลาญในร่างกายให้เป็นไปอย่างปกติ ในทางกลับกันถ้ามีการสะสมในปริมาณที่มากเกินไป อาจทำให้เกิดการอาเจียน คลื่นไส้ ท้องเสีย และปวดศีรษะ ถ้าสะสมเรื้อรังเป็นเวลานานอาจทำให้เกิดภาวะเลือดออกในทางเดินอาหาร ปัสสาวะมีเลือดออก มีการแตกของเม็ดเลือดในกระแสเลือด และไตวาย (Rajeshkumar & Li, 2018) อย่างไรก็ตามปริมาณ

สังกะสี และทองแดงที่สะสมอยู่ในเนื้อปลาที่ทำการศึกษาในครั้งนี้มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานกำหนดของประกาศกระทรวงสาธารณสุข (2529) และของสหภาพยุโรป (Official Journal of the European Union, 2006) ที่กำหนดของสังกะสีไม่เกิน 100 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และทองแดงไม่เกิน 20 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

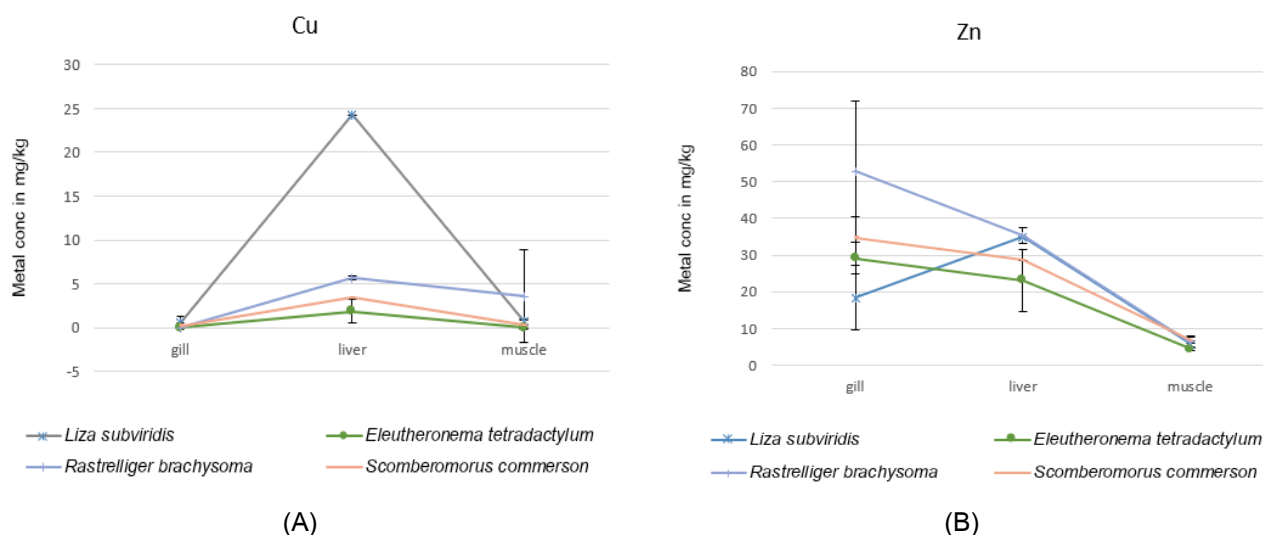
โลหะหนักจะมีปริมาณการสะสมในสัตว์ทะเลแต่ละชนิดได้แตกต่างกัน สัตว์ทะเลที่มีนิสัยการกินอาหารและการอยู่อาศัยที่มีความสัมพันธ์กับตะกอนในน้ำ จะมีการสะสมปริมาณโลหะหนักมากกว่าสัตว์น้ำชนิดอื่น การสะสมของโลหะหนักในเนื้อเยื่อจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณความเข้มข้นในน้ำทะเล โดยได้รับผ่านจากกระบวนการดูดซึมจากมวลน้ำโดยตรง และการรับโดยอ้อมผ่านทางอาหารหรือตะกอนที่กินเข้าไป และถ่ายทอดสู่สิ่งมีชีวิตอื่นโดยผ่านห่วงโซ่อาหาร สำหรับการศึกษาครั้งนี้ตรวจไม่พบแคดเมียมและตะกั่วในตัวอย่างปลาที่นำมาศึกษาทั้งนี้ไม่ได้บ่งบอกว่าไม่พบโลหะหนักสองชนิดนี้ อาจพบน้อยมากในปริมาณความเข้มข้นต่ำกว่าขีดจำกัดในการตรวจพบหรือ LOD (Limit of Detection) ของการวิเคราะห์ครั้งนี้ อีกประการหนึ่งอาจเป็นเพราะในธรรมชาติ แคดเมียมและตะกั่วที่ปนเปื้อนในทะเลจะมีค่าต่ำมาก และถ้าพบ จะมีการสะสมในสัตว์ทะเลพวกครัสเตเชียนและหมีมากกว่าปลา เพราะเหงือกของหมีไม่มีระบบการกำจัดตะกอน ทำให้รับโลหะหนักโดยตรงผ่านน้ำและโดยอ้อมผ่านอาหารหรือตะกอนที่กินเข้าไป ทำให้เกิดการสะสมของแคดเมียมและตะกั่วในเนื้อเยื่อสูงกว่าในเนื้อเยื่อของสัตว์ทะเลชนิดอื่น รวมทั้งใช้ช่วงเวลาในการกำจัดออกจากร่างกายนาน (Qiao-qiao *et al.*, 2007)

**เปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในอวัยวะส่วนต่างๆ ของปลากระบอกดำ ปลาเกะ ปลาทุ และปลาอินทรีบั้ง**

ผลจากการวิเคราะห์ปริมาณการสะสมของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดคือ แคดเมียม (Cd) ทองแดง

(Cu) ตะกั่ว (Pb) และสังกะสี (Zn) ในอวัยวะส่วนต่าง ๆ ได้แก่ เหงือก ตับ และเนื้อ ของปลากะบอกดำ (Greenback mullet, *Liza subviridis*) ปลาทุเร (Fourfinger threadfin, *Eleutheronema tetradactylum*) ปลาทุ (Short-bodied mackerel, *Rastrelliger brachysoma*) และปลาอินทรีบัง (Narrow-barred Spanish mackerel, *Scomberomorus commerson*) ในส่วนของการสะสมปริมาณโลหะหนักในอวัยวะส่วนต่าง ๆ พบสังกะสีมีการสะสมในเหงือกมากที่สุด ทองแดงมีการสะสมในตับมากที่สุด และพบการสะสมของโลหะหนักทั้งสองชนิดนี้ในปลาทุกชนิดที่นำมาศึกษา ส่วนเนื้อพบการสะสมของโลหะหนักน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการสะสมของโลหะหนักกับอวัยวะส่วนต่าง ๆ ของปลาทุกชนิดที่ทำการศึกษ พบว่าทองแดงมีการสะสมในตับสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) (Figure 1, 2(A)) สอดคล้องกับงานของ Jezierska & Witeska (2006) ที่รายงานการสะสมของโลหะหนักในอวัยวะส่วนต่าง ๆ ของปลา ส่วนใหญ่

พบสะสมในเหงือก ตับ และไต ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำ และระยะเวลาที่ปลาได้รับโลหะหนักนั้น ๆ ส่วนเนื้อจะพบมีการสะสมของโลหะหนักน้อยที่สุด ความสัมพันธ์ของโลหะหนักชนิดต่าง ๆ ที่สะสมในอวัยวะส่วนต่าง ๆ ของปลา จะมีความแตกต่างกันไป โลหะหนักที่มีความจำเป็นต่อร่างกาย เช่น เหล็ก ทองแดง แมงกานีส และโคบอลต์ จะสะสมในอวัยวะที่เฉพาะเจาะจงโดยทองแดงมักจะพบสะสมที่ตับ ส่วนสังกะสีมักจะพบสะสมที่อวัยวะสืบพันธุ์ จากการศึกษาครั้งนี้พบว่า การสะสมของโลหะหนักในอวัยวะส่วนต่าง ๆ ของปลาที่ทำการศึกษาเป็นดังนี้คือ ตับ > เหงือก > เนื้อ ซึ่งเหงือกจัดว่าเป็นอวัยวะเป้าหมายด้านแรกในการที่โลหะหนักถูกดูดซึมและสะสมอยู่ก่อนจะเข้าสู่ตัวปลา โลหะหนักจะมีการจับกับเมือกที่บริเวณเหงือก และยากที่จะกำจัดหรือล้างออกก่อนที่จะนำปลามาวิเคราะห์ (Vinodhini & Narayanan, 2008) โดยจะพบปริมาณโลหะหนักที่ผ่านมากับน้ำเพิ่มสูงอย่างรวดเร็ว



**Figure 2** Graph showing metal organ interaction (A) Cu and (B) Zn

ในบริเวณนี้และจะค่อย ๆ ลดลง และบางส่วนก็จะถูกส่งผ่านออกจากเหงือกไป โดยเหงือกเป็นเส้นทางไอออนของโลหะหนักในน้ำและผ่านการออสโมซิสทำให้น้ำไปสู่การตกตะกอนบนผนังเซลล์

ตัวดูดซับในอวัยวะต่างๆ (El-Moselhy *et al.*, 2014) แต่ถ้าเป็นช่วงที่ปลากินอาหาร ปริมาณโลหะหนักที่บริเวณเหงือกจะเพิ่มขึ้นช้ากว่าที่รับจากน้ำที่ผ่านเหงือกโดยตรง (Jezierska & Witeska, 2001) ความ

เข้มข้นของปริมาณโลหะหนักที่สะสมในเหงือกจะเป็นตัวสะท้อนให้เห็นถึงความมากน้อยของโลหะหนักในแหล่งน้ำที่ปลาอาศัยอยู่ ดังนั้นเหงือกปลาจะเป็นอวัยวะที่บ่งชี้ถึงมลพิษทางสภาพแวดล้อมในน้ำได้เป็นอย่างดี ขณะที่ความเข้มข้นของปริมาณโลหะหนักที่สะสมในตับและอวัยวะในทางเดินอาหารจะบ่งบอกถึงการสะสมของโลหะหนักในอวัยวะในตับปลา เนื่องจากตับเป็นอวัยวะหลักที่ทำหน้าที่ทั้งรับเก็บ และกำจัดของเสียออกจากร่างกายของสิ่งมีชีวิต (Dural *et al.*, 2007; Rajeshkumar & Li, 2018) ปริมาณการสะสมของโลหะหนักในอวัยวะต่าง ๆ ยังมีความสัมพันธ์กับช่วงเวลาของการรับและการกำจัดโลหะหนักที่สะสมในอวัยวะนั้น ๆ ซึ่งเป็นเรื่องที่ซับซ้อน การสะสมของโลหะหนักในอวัยวะต่าง ๆ ที่มากเกินไป อาจส่งผลให้เกิดความผิดปกติและรบกวนการทำงานของระบบต่าง ๆ ภายในร่างกาย ซึ่งโลหะหนักที่สะสมในตับปลานี้ไม่เพียงแต่ชนิดของโลหะเท่านั้นแต่รวมถึงความเป็นพิษของโลหะหนักนั้น ๆ ด้วย ถ้ามากเกินไปอาจทำให้ปลาตายได้ อย่างไรก็ตาม ปริมาณโลหะหนักที่สะสมในเนื้อปลาซึ่งเป็นส่วนที่คนบริโภค โดยทั่วไปยังอยู่ในระดับที่ปลอดภัย (ยกเว้นปรอท) แต่ก็ยังมีความเสี่ยงกับปลากินเนื้อขนาดใหญ่ นก และสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมที่กินปลาที่มีการปนเปื้อนของโลหะหนัก (Jezierska & Witeska, 2001, 2006) โลหะหนักในแหล่งน้ำธรรมชาติสามารถปรากฏอยู่ในรูปของสารแขวนลอย (Suspended solid) หรือในรูปของสารที่ละลายน้ำได้ (Dissolved) โลหะหนักที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำสามารถรวมได้กับสารอินทรีย์ในมวลน้ำและดินตะกอนใต้พื้นน้ำ โดยเฉพาะบริเวณปากแม่น้ำ และอาจมีบางส่วนที่ถูกพัดออกทะเล (สารโจน และคณะ, 2552) พวกที่อยู่ในรูปสารแขวนลอย จะมีระยะเวลาที่คงอยู่ (Residence time) ยาวนานกว่าพวกที่ละลายน้ำ ก่อนที่จะนำออกไปจากทะเลโดยกระบวนการต่าง ๆ และจากการไหลของกระแสน้ำทำให้ตะกอนที่อยู่ใต้น้ำเกิดการลอยตัวขึ้น (Resuspension) มาอยู่ในมวลน้ำได้อีก

ดังนั้นโลหะหนักในแหล่งน้ำจึงมีทั้งกระบวนการดูดซับ (Absorption) และการคาย (Desorption) ระหว่างน้ำและตะกอน (วิกิตำนา, 2541) ซึ่งส่งผลต่อปริมาณโลหะหนักทั้งในตะกอนและในน้ำ โลหะหนักในรูปของสารที่ละลายน้ำอาจอยู่ในรูปของสารประกอบที่คงตัว (Non-labile) และไม่คงตัว (Labile) โดยในรูปที่ไม่คงตัวนั้นมักมีความเป็นพิษสูงและก่อให้เกิดอันตรายต่อปลา ซึ่งจะอยู่ในรูปของสารประกอบไอออนที่หลากหลาย (Jezierska & Witeska, 2006) โดยปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมจะเป็นตัวกระตุ้นความเป็นพิษของโลหะหนักเหล่านั้น

การสะสมโลหะหนักที่แตกต่างกันในปลายังขึ้นอยู่กับชนิดของปลา ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการกินอาหาร และแหล่งที่ปลาอาศัย (Rajeshkumar & Li, 2018) ปลากินเนื้อ ที่มีลักษณะเป็นผู้ล่า (Predatory fish) ซึ่งอยู่ในลำดับขั้นการกินอาหารที่สูงมีแนวโน้มการสะสมโลหะหนักในร่างกายมากกว่าปลาที่อยู่ในลำดับขั้นการกินอาหารที่ต่ำกว่า (Kidwell *et al.*, 1995) เนื่องจากปลากลุ่มนี้จะมีการว่ายน้ำอย่างรวดเร็ว ซึ่งพฤติกรรมเช่นนี้จะทำให้มีการสะสมโลหะหนักที่สูง ส่วนปลาที่มีนิสัยการกินอาหารหลากหลายทั้งพืช สัตว์ แพลงก์ตอน และเศษซาก (Omnivorous fish) ถ้าอาศัยอยู่บริเวณหน้าดินและมีการกินอาหารบริเวณใกล้หน้าดิน มีแนวโน้มจะรับโลหะหนักจากตะกอนในบริเวณที่ปลาอาศัยอยู่ อีกทั้งปลาหน้าดินมีพฤติกรรมไม่ค่อยเคลื่อนย้ายถิ่นฐาน จึงมีแนวโน้มที่จะสะสมโลหะหนักที่ปนเปื้อนในเนื้อเยื่อมากกว่าปลาที่หากินบริเวณกลางน้ำถึงผิวน้ำ (Windom & Cranmer, 1998) ปลากินพืช หรือ สัตว์กินพืช (Herbivorous fish) มักพบการสะสมของโลหะหนักค่อนข้างต่ำ เนื่องจากปลากินพืชจะเป็นผู้บริโภคปฐมภูมิ (Primary consumer) และอยู่ในลำดับขั้นการกินอาหารที่ต่ำ และความหลากหลายของอาหารที่กินน้อยกว่าในกลุ่มปลาที่กินเนื้อหรือกินทั้งพืชและเนื้อ ดังนั้นการเพิ่มขยายทางชีวภาพ (Biomagnification) ของโลหะหนัก จึงไม่มากเท่ากับ

ผู้บริโภคทุติยภูมิ (Secondary consumer) (Kidwell *et al.*, 1995) ผลจากการศึกษาค้นคว้าพบว่าปริมาณการสะสมของสังกะสีในปลาที่ทำการศึกษาค้นคว้านี้ ในส่วนของเนื้อจะเรียงตามดังนี้ ปลาอินทรีบั้ง>ปลาทุ>ปลากระบอกดำ>ปลากุเร ส่วนปริมาณการสะสมของทองแดงในส่วนของเนื้อนั้นจะเรียงตามดังนี้ ปลาทุ>ปลากระบอกดำ>ปลาอินทรีบั้ง โดยปลาอินทรีบั้งเป็นปลาผิวน้ำกินปลาและสัตว์น้ำขนาดเล็ก จัดว่าเป็นปลาที่มีลำดับขั้นการกินอาหารที่สูงกว่าปลาชนิดอื่น ปลาทุเป็นปลาผิวน้ำ กินแพลงก์ตอนว่ายนํ้ารวมฝูงอยู่กลางน้ำถึงผิวน้ำ กรองกินอินทรีย์สารที่แขวนลอยในน้ำทั้งแพลงก์ตอนพืชและสัตว์ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการศึกษาค้นคว้า ส่วนปลากระบอกดำเป็นปลาหน้าดินที่กินพืชและเศษซากอินทรีย์รวมทั้งตะกอน และปลากุเรเป็นปลาหน้าดินเช่นกัน กินลูกปลา ลูกกุ้ง และสัตว์น้ำที่อาศัยอยู่บริเวณหน้าดิน หากินอยู่ตามหน้าดินที่เป็นดินโคลน สำหรับผลการศึกษาครั้งนี้ แม้ว่าพบปริมาณโลหะหนักที่สะสมในปลากระบอกดำและปลากุเรน้อยกว่าปลาผิวน้ำอย่างเช่นปลาอินทรีบั้งและปลาทุ แต่ก็ไม่ได้บ่งบอกว่าปลาหน้าดินจะมีการสะสมปริมาณโลหะหนักน้อยกว่า ทั้งนี้จากการรายงานของ Dural *et al.*, (2007) ที่ทำการศึกษากัน ปริมาณโลหะหนักในอวัยวะต่าง ๆ ของปลาที่เก็บรวบรวมจากทะเลสาบ Tuzla ชายฝั่งตะวันออกของทะเลเมดิเตอร์เรเนียน ประเทศตุรกี พบปริมาณการสะสมของสังกะสี ทองแดง และตะกั่วในปลากินพืชสูงกว่าปลากินเนื้อ โดยระบุปริมาณการสะสมของโลหะหนักในตับและเหงือกของปลากระบอกชนิด *Mugil cephalus* ซึ่งเป็นปลาหน้าดินที่กินพืช มีมากกว่าปลาชนิดอื่นที่ทำการศึกษา ทั้งนี้ปริมาณการสะสมโลหะหนักที่แตกต่างกันในปลาแต่ละชนิด แม้ว่าจะมีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการกินอาหาร และแหล่งที่ปลาอาศัยแล้ว ยังขึ้นกับปัจจัยอีกหลายอย่างได้แก่ อายุ เพศ และขนาดของปลา อีกทั้งชนิดและปริมาณของโลหะหนักที่ปลาได้รับ วิธีการที่ปลาได้รับ อัตราการตกตะกอนในอวัยวะต่าง ๆ

และการกำจัดออกจากร่างกาย (Dural *et al.*, 2007; Rajeshkumar & Li, 2018) แม้ว่าลำดับการบริโภคในห่วงโซ่อาหารปลากินเนื้อจะสูงกว่าปลากินพืชก็ตาม แต่จากผลของการศึกษาค้นคว้านี้ยังไม่สามารถชี้ชัดได้ว่าปริมาณการสะสมโลหะหนักในปลากินเนื้อสูงกว่าปลากินพืชในโลหะหนักทุกชนิด ซึ่งอาจต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของการปัจจัยต่าง ๆ ข้างต้น เพื่อให้สามารถบอกความแตกต่างของการสะสมโลหะหนักในปลากินพืชและปลากินเนื้อ รวมถึงในปลาผิวน้ำและปลาหน้าดินได้อย่างชัดเจนมากขึ้น อย่างไรก็ตาม ปริมาณสังกะสีและทองแดงที่ปนเปื้อนในส่วนเนื้อปลาที่นำมาบริโภคจากผลการศึกษาครั้งนี้ ยังต่ำกว่ามาตรฐานกำหนดของประกาศกระทรวงสาธารณสุข (2529) และของสหภาพยุโรป (Official Journal of the European Union, 2006) ที่กำหนดสังกะสีไม่เกิน 100 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และทองแดงไม่เกิน 20 มิลลิกรัม/กิโลกรัม อีกทั้งยังไม่มีข้อมูลหรืองานวิจัยที่ศึกษาโดยตรงถึงผลกระทบของโลหะหนักที่สะสมในปลาต่อผู้บริโภคปลาในพื้นที่บ้านบางบ่อ ผลที่ได้จากการศึกษาค้นคว้านี้ สามารถนำมาข้อมูลพื้นฐาน มาประเมินความเสี่ยงจากการที่ผู้บริโภค บริโภคปลาที่มีสารปนเปื้อนของโลหะหนัก เพื่อประโยชน์ต่อผู้บริโภคในด้านสุขภาพและเศรษฐกิจ สร้างความตระหนักในเรื่องของการจัดการปัญหาสิ่งแวดล้อม และเพื่อนำไปพัฒนาแนวทางการวางแผนในการป้องกัน หรือลดมลพิษในแหล่งน้ำของพื้นที่ชายฝั่งบ้านบางบ่อและพื้นที่ใกล้เคียงต่อไป

### เอกสารอ้างอิง

ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 98 (พ.ศ. 2529)  
เรื่อง มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน.  
(21 มกราคม 2529). *ราชกิจจานุเบกษา*  
ฉบับพิเศษ. เล่ม 103 ตอนที่ 23. หน้า 16-19.

- ชัยพฤกษ์ วงศ์สุวรรณ. (2553). คุณภาพสิ่งแวดล้อมและแนวโน้มผลกระทบที่จะเกิดขึ้นต่อพื้นที่ชายฝั่งทะเลบริเวณปากแม่น้ำแม่กลอง. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 18(4), 38-49.
- ภัทรารุช ไทยพิชิตบุรพา, เชษฐพงษ์ เมฆสัมพันธ์ และ ชลาทิพ จันทร์ชมพู. (2562). การสะสมโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมทางน้ำและผลกระทบต่อโลมาอิรวดี บริเวณอ่าวตราด จังหวัดตราด. มหาวิทยาลัยบูรพา.
- วิกันดา ชัยบุตร. (2541). การศึกษาปริมาณโลหะหนักในน้ำ ดินตะกอนและเนื้อเยื่อส่วนต่างๆ ของปลาบางชนิดในแม่น้ำแม่กลอง. [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์] iThesis Kasetsart University. <https://www-lib-ku-ac-th.kasetsart.idm.oclc.org/KUthesis/2541/WigundaCha/index.html>
- ศุภกาญจน์ พงศ์ยี่หล้า. (2565). การเปลี่ยนแปลงและการปรับตัวในการใช้ทรัพยากรชายฝั่งของชุมชนประมง ตำบลบางแก้ว อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสงคราม: มุมมองจากประวัติศาสตร์ท้องถิ่น. รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์ภายใต้ชุดโครงการวิจัยเรื่องความเปลี่ยนแปลงและการปรับตัวของชาวประมงขนาดเล็กในยุค “การปฏิรูป” การประมงของประเทศไทย: กรณีชุมชนชายฝั่ง จ. สมุทรสงคราม. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ศุภลักษณ์ พวงสุวรรณ. (2557). ปริมาณโลหะหนักบางชนิดในปลาทูนบริเวณแนวสันเขาใต้หน้า 90° E. [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์] PSU Knowledge Bank. <http://kb.psu.ac.th/psukb/handle/2010/9649>
- สมชาย วิบุญพันธ์, ณรงค์ศักดิ์ คงชัย, วิวิธนันท์ บุญยัง และทรงฤทธิ์ โชติธรรมโม. (2549). การปนเปื้อนของสารโลหะหนักในสัตว์ทะเลบางชนิดบริเวณชายฝั่งอ่าวไทยตอนล่าง. กรมประมง.
- สาโรจน์ เริ่มดำรง, สาวิตรี แก้วเรียส, และ เกริก วงศ์สอนธรรม. (2552). การปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำ และตะกอนดินบริเวณชายฝั่งทะเลของอ่าวไทยตอนบน. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 47 สาขาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (น. 221-228). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สำนักอุตสาหกรรมจังหวัดสมุทรสงคราม. (2552). สถิติโรงงานอุตสาหกรรมจังหวัดสมุทรสงคราม. สำนักอุตสาหกรรมจังหวัดสมุทรสงคราม
- AOAC. (2000). *Official methods of analysis of AOAC* (17<sup>th</sup> Ed). Association of Analytical Communities.
- Dural, M., Goksu M. Z. L., & Ozak, A. (2007). Investigation of heavy metal levels in economically important fish species captured from the Tuzla lagoon. *Food Chemistry*, 102(1), 415–421. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.03.001>
- El-Moselhy, K. M., Othman, A. I., Abd El-Azem, H., & El-Metwally, M. E. A. (2014). Bioaccumulation of heavy metals in some tissues of fish in the Red Sea, Egypt. *Egyptian Journal of Basic and Applied Sciences*, 1(2), 97-105. <https://doi.org/10.1016/j.ejbas.2014.06.001>

- Garai, P., Banerjee, P., Mondal, P. & Saha, N.C. (2021). Effect of heavy metals on fishes: Toxicity and bioaccumulation. *Journal of Clinical Toxicology*, 11(S18), 001.
- Jezierska, B., & Witeska, M. (2001). Metal Toxicity to Fish. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 11(3), 279-279. <https://doi.org/10.1023/A:1020380730689>
- Jezierska, B., & Witeska, M. (2006). The metal uptake and accumulation in fish living in polluted waters. In Twardowska, I., Allen, H.E., Häggblom, M.M., Stefaniak, S. (Eds). *Soil and Water Pollution Monitoring, Protection and Remediation*. (pp.107-114). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4728-2\\_6](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4728-2_6)
- Kidwell, J. M., Phillips, L.J., & Birchard, G.F. (1995). Comparative analyses of contaminant levels in bottom feeding and predatory fish using the National Contaminant Biomonitoring Program Data. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 54, 919-923. <https://doi.org/10.1007/BF00197979>
- Kosgei, P. J., Mwaniki, D.M., & Liti, D.M. (2019). Concentration of selected heavy metals in water and the cumulative effect on selected organs of *Oreochromis niloticus* and *Clarias gariepinus* from Lake Victoria, Kenya. *Resources and Environment*, 9(4), 80-91.
- 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*. EUR-Lex. <http://data.europa.eu/eli/reg/2006/1881/oj>
- Qiao-qiao, C., Guang-wei Zhu, Z., & Langdon, A. (2007). Bioaccumulation of heavy metals in fishes from Taihu Lake, China. *Journal of Environmental Sciences*, 19(12), 1500-1504. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(07\)60244-7](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(07)60244-7)
- Rajeshkumar, S., & Li, X. (2018). Bioaccumulation of heavy metals in fish species from the Meiliang Bay, Taihu Lake, China. *Toxicology Report*, 18(5), 288- 295 <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2018.01.007>
- Sawyer, C. N., McCarty P. L., & Parkin, G. F. (2003). *Chemistry for environmental and Engineering and Science* (5<sup>th</sup> Ed). McGraw Hill.
- Vinodhini, R., & Narayanan, M. (2008). Bioaccumulation of heavy metals in organs of freshwater fish *Cyprinus carpio* (Common carp). *International Journal of Environmental Science and Technology*, 5, 179-182. <https://doi.org/10.1007/BF03326011>
- Watanabe, T., Kiron, V. & Satoh, S. (1997). Trace minerals in fish nutrition. *Aquaculture*, 151, 185-207. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(96\)01503-7](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(96)01503-7)

Windom, L., & Cranmer, G. (1998). Lack of observed impacts of gas production of bongkot field, Thailand on marine biota. *Marine Pollution Bulletin*, 36(10), 799-807. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(98\)00060-5](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(98)00060-5)