

การสะสมทางชีวภาพของโลหะหนักบางชนิดในปลาทุ (*Rastrelliger brachysoma*) และ
ปลาทุเร (*Eleutheronema tetradactylum*) จากบริเวณอ่าวแม่กลอง
จังหวัดสมุทรสงคราม

**Bioaccumulation of Some Heavy Metals in Short-bodied mackerel (*Rastrelliger
brachysoma*) and Fourfinger threadfin (*Eleutheronema tetradactylum*)
from Mae Klong Bay, Samut Songkhram Province**

วิภูษณะ หนุ่ยยวิกุล,¹ ศิรประภา เปรมเจริญ^{1*} และ พิเชษฐ อหุรักษ์อุดม¹
Wiphoosana Nunyavikul,¹ Siraprapha Premcharoen^{1} and Piched Anuragudom¹*

Received 27 June 2023, Revised 3 October 2023, Accepted 13 November 2023

ABSTRACT

This study was aimed to analyze the bioaccumulation of heavy metal contamination (Cd, Cu, Pb, Zn) in gill, gonad, intestine, liver and muscle of short-bodied mackerel (*Rastrelliger brachysoma*) and fourfinger threadfin (*Eleutheronema tetradactylum*) which were collected from Mae Klong Bay, Samut Songkhram Province. Zn showed the highest accumulation in all organs of both fishes, with average concentration of 144.786 ± 13.705 mg/kg in short-bodied mackerel's gill and 85.157 ± 36.610 mg/kg in fourfinger threadfin's liver. Cd and Cu, exhibited the highest accumulation in liver; however all metals possessed at high accumulation in gill. Muscle possessed the lowest accumulation of nearly all metals. The level of heavy metals showed the highest accumulation significantly in gill and liver of both fishes ($p \leq 0.05$), while the lowest accumulation was shown in muscle significantly ($p \leq 0.05$). From this study, high level of Zn and Cu in muscle did not exceed the legal limit but Cd and Pb exceeded the legal limit set by Ministry of Public Health of Thailand and European Commission Regulation.

Keywords: Short-bodied mackerel, Fourfinger threadfin, Heavy metal, Mae Klong Bay

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์การสะสมทางชีวภาพของ แคดเมียม ทองแดง ตะกั่ว และสังกะสี ที่สะสมอยู่ในเหงือก อวัยวะสืบพันธุ์ ลำไส้ ตับ และเนื้อของปลาทุ (Short-bodied mackerel, *Rastrelliger brachysoma*) และปลาทุเร (Fourfinger threadfin, *Eleutheronema tetradactylum*) ที่เก็บรวบรวมจากบริเวณอ่าวแม่กลอง จังหวัดสมุทรสงคราม ผลจากการวิเคราะห์ปริมาณของโลหะหนักที่สะสม พบว่าสังกะสีมีปริมาณการสะสมมากที่สุดในทุกอวัยวะของปลา โดยมีการสะสมสูงสุดในเหงือกของปลาทุ (144.786 ± 13.705 มก./กก.) และในตับของปลาทุเร (85.157 ± 36.610 มก./กก.) แคดเมียมและทองแดงมีการสะสมในตับมากที่สุด

^{1*} ภาควิชาวิทยาศาสตร์และนวัตกรรมชีวภาพ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

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

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

นอกจากนี้โลหะทั้ง 4 ชนิด ส่วนใหญ่ยังมีการสะสมในเหงือกในปริมาณค่อนข้างมากเช่นกัน ส่วนเนื้อพบการสะสมของโลหะทั้ง 4 ชนิดน้อยที่สุด และเมื่อเทียบค่าสถิติปริมาณการสะสมของโลหะหนักกับอวัยวะส่วนต่าง ๆ ของปลาสองชนิดที่ทำการศึกษา พบว่าตับและเหงือกมีปริมาณการสะสมของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ส่วนเนื้อมีปริมาณการสะสมของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดต่ำสุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ปริมาณสังกะสีและทองแดงที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ในเนื้อปลาที่นำมาบริโภค ต่ำกว่ามาตรฐาน แต่ปริมาณการสะสมของแคดเมียมและตะกั่วในเนื้อปลา สูงเกินกว่ามาตรฐานกำหนดของกระทรวงสาธารณสุขไทยและของสหภาพยุโรป

คำสำคัญ: ปลาหู ปลาภูเขา โลหะหนัก อ่าวแม่กลอง

คำนำ

ปลาเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญต่อมนุษย์ที่อุดมไปด้วยโปรตีนสูง อีกทั้งปลายังเป็นดัชนีชีวภาพในแหล่งน้ำได้เป็นอย่างดี (Rashed, 2001; Chojnacka & Mikulewicz, 2014) แต่ปัจจุบันมีโรงงานอุตสาหกรรมเข้ามาตั้งในพื้นที่ต่าง ๆ มากมาย มีการระบายของเสียลงสู่แหล่งน้ำ อีกทั้งของเสียที่ปล่อยจากครัวเรือนทำให้มีมลพิษต่าง ๆ เช่น โลหะหนัก ไมโครพลาสติก ปนเปื้อนลงไปในแหล่งน้ำ ซึ่งทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ โลหะหนักเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดการสะสมทางชีวภาพ (Bioaccumulation) โลหะหนักแตกต่างจากธาตุทั่วไปคือสลายตัวช้า และมีความคงตัวสามารถแทรกซึมและสะสมในสิ่งแวดล้อม จึงพบมีการปนเปื้อนของโลหะหนัก ในแหล่งน้ำ ดินตะกอนในพืช ในสัตว์ โดยเฉพาะสัตว์น้ำเศรษฐกิจอย่างเช่นปลาที่นิยมนำมาบริโภคหลายชนิด โลหะหนักเหล่านี้สามารถเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารก่อให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพของผู้บริโภคได้ (สมชายและคณะ, 2549) ดังนั้นการปนเปื้อนของโลหะหนักในแหล่งน้ำจึงสามารถที่จะตรวจสอบหรือประเมินได้จากปลาที่นำมาบริโภค ซึ่งมีปัจจัยหลายอย่างที่มีผลต่อการดูดซึมโลหะ ได้แก่ ชนิดของปลา พฤติกรรมการกินอาหาร ขนาด อายุ เพศ ขนาดของปลา และแหล่งที่ปลาอาศัย (Rajeshkumar & Li, 2018)

พื้นที่บริเวณชายฝั่ง ส่วนใหญ่มีสภาพเป็นดินตะกอนซึ่งถือได้ว่าเป็นแหล่งสะสมสารพิษ ส่วนใหญ่ในธรรมชาติจะพบโลหะที่มีการสะสมใน

ธรรมชาติได้แก่ ทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) เหล็ก (Fe) และ แมงกานีส (Mn) เป็นแร่ธาตุที่จำเป็นและมีความสำคัญต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมในร่างกาย โดยมีความต้องการในปริมาณน้อยและการสะสมในร่างกายก็มีขีดจำกัด ในขณะที่โลหะหนักชนิดอื่น ได้แก่ ตะกั่ว (Pb) แคดเมียม (Cd) และปรอท (Hg) พบว่าไม่มีความสำคัญในกระบวนการต่าง ๆ ของสิ่งมีชีวิต โดยที่มนุษย์มีการนำโลหะหนักเหล่านี้ มาใช้เป็นวัตถุดิบและส่วนประกอบหรือตัวกระตุ้นในกระบวนการผลิตต่าง ๆ ของภาคอุตสาหกรรม บริเวณพื้นที่ชายฝั่งปากแม่น้ำแม่กลอง จังหวัดสมุทรสงคราม เป็นพื้นที่หนึ่งที่มีการพัฒนาอุตสาหกรรมและเศรษฐกิจอย่างรวดเร็ว อีกทั้งมีการเพิ่มขึ้นของประชากรและแหล่งที่อยู่อาศัย มลพิษทางน้ำส่วนใหญ่จะมาจากโรงงานอุตสาหกรรม แหล่งท่องเที่ยว ชุมชน และพื้นที่เกษตรกรรม (ชัยพฤกษ์, 2553) โรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ที่ตั้งอยู่บริเวณนี้ ส่วนใหญ่จะเป็นโรงงานอุตสาหกรรมประเภทแปรรูปอาหาร โรงงานอุตสาหกรรมผลิตยานพาหนะและอุปกรณ์ และโรงงานอุตสาหกรรมผลิตโลหะ (สำนักอุตสาหกรรมจังหวัดสมุทรสงคราม, 2552) เมื่อมีการทิ้งขยะจากอุตสาหกรรม โดยไม่มีการบำบัดและการกำจัดอย่างถูกวิธีจึงมีผลทำให้เกิดสารพิษและโลหะหนักปนเปื้อนในธรรมชาติส่งผลกระทบต่อทรัพยากรชายฝั่งและสิ่งแวดล้อมในพื้นที่สำหรับสัตว์น้ำ เมื่อได้รับสารปนเปื้อนเหล่านี้ จะมีการสะสมในระบบทางเดินหายใจและทางเดินอาหารของปลา โดยสามารถสะสมโลหะหนักไว้ใน

เนื้อเยื่อโดยผ่านทางห่วงโซ่อาหาร จากการกินต่อกันเป็นทอด ๆ จากผู้ผลิตสู่ผู้บริโภคลำดับต่าง ๆ ซึ่งท้ายที่สุดก็คือมนุษย์ ดังนั้นการบริโภคอาหารที่มีโลหะหนักอยู่สูงเกินระดับมาตรฐาน อาจทำให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภคได้ อีกทั้งการสะสมทางชีวภาพเป็นตัวบ่งชี้ที่ดีกับสภาพแวดล้อมในบริเวณที่ปลาอาศัยอยู่ ทำให้ทราบปริมาณการสะสมของโลหะดังกล่าวในปลาที่นำมาบริโภค งานวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณการสะสมทางชีวภาพของโลหะหนัก ได้แก่ แคดเมียม ทองแดง ตะกั่ว และสังกะสี ในเนื้อเยื่อของอวัยวะส่วนต่าง ๆ ได้แก่ เหงือก อวัยวะสืบพันธุ์ ลำไส้ ตับ และเนื้อของปลาหู และปลากุเรว ที่รวบรวมจากบริเวณอ่าวแม่กลอง จังหวัดสมุทรสงคราม เพื่อที่จะนำมาซึ่งข้อมูลพื้นฐานในการสร้างความตระหนักในการวางแผนการดูแล ป้องกัน และจัดการสิ่งแวดล้อมของแหล่งน้ำในพื้นที่ต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ตัวอย่าง

ทำการเก็บตัวอย่างปลาหูและปลากุเรว ชนิดละ 10-15 ตัว ที่จับได้จากอวนลอย บริเวณอ่าวแม่กลอง จังหวัดสมุทรสงคราม ในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2565 นำตัวอย่างกลับมาที่ห้องปฏิบัติการเพื่อเก็บรักษาไว้ในตู้แช่แข็งอุณหภูมิ -20 °C เพื่อรอการวิเคราะห์ในลำดับต่อไป

นำตัวอย่างที่เก็บไว้ มาทำให้ละลายโดยการวางไว้ในตู้อุณหภูมิห้องโดยไม่ให้สัมผัสกับน้ำโดยตรง วัดความยาว และชั่งน้ำหนัก จากนั้นผ่าแยกเอาอวัยวะส่วนต่าง ๆ ได้แก่ เหงือก ตับ ลำไส้ อวัยวะสืบพันธุ์และเนื้อ นำแต่ละส่วนมาแยกบดให้เป็นเนื้อเดียวกัน อบตัวอย่างแต่ละส่วนที่อุณหภูมิ 105-107 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ซึ่งตัวอย่างที่อบแล้ว 1 ก. ใส่ในบีกเกอร์ เติมน้ำผสมกรดไนตริก: ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (1:1) 15 มล. ย่อยตัวอย่างที่ความร้อน 100 °C เป็นเวลา 30-45 นาที จนเป็นของเหลวใสไม่มีตะกอน ทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นนำไป

กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 ทำการปรับปริมาตรในขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask) ให้ได้ 25 มล. ด้วย 2% กรดไนตริก (HNO₃) เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก ตามวิธีของ AOAC (2000) ด้วยเครื่อง Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy (ICP-OES) ยี่ห้อ PerkinElmer Optima 2000 DV โดยในทุกรอบของการย่อยตัวอย่าง จะทำการย่อยโดยไม่ใช้ตัวอย่าง (Blank) ด้วยวิธีการเดียวกับการย่อยตัวอย่าง รอบละ 3 ชั่วโมง เพื่อควบคุมคุณภาพในการวิเคราะห์ตัวอย่าง

การสร้างกราฟมาตรฐาน (Standard calibration curve) โลหะหนัก

ทำการสร้างกราฟมาตรฐาน (Standard calibration curve) โลหะหนัก โดยการกำหนดแกน X เป็นค่าความเข้มข้น (Intensity) สารละลายมาตรฐานโลหะหนัก (หน่วยเป็น mg/L หรือ ppm) และแกน Y เป็นค่าความเข้มข้นของสารละลายแคดเมียม ที่ความเข้มข้น 0.00025, 0.00125, 0.05, 0.10, 0.25 และ 10.0 ppm ทองแดง ที่ความเข้มข้น 0.0025, 0.0125, 0.5, 1.00, 2.50 และ 10.00 ppm ตะกั่ว ที่ความเข้มข้น 0.005, 0.025, 1.0, 2.0, 5.0 และ 20.0 ppm และสังกะสี ที่ความเข้มข้น 0.0025, 0.0125, 0.50, 1.00 และ 2.5 ppm ขีดจำกัดการตรวจจับ Limit of Detection (LOD) สำหรับ แคดเมียม ทองแดง ตะกั่ว และ สังกะสี คือ 0.00016 มก./กก., 0.0027 มก./กก., 0.00014 มก./กก. และ 0.00041 มก./กก. ตามลำดับ พิจารณาค่าเฉลี่ยปริมาณโลหะหนักที่คำนวณได้จากกราฟวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICP-OES

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยหาค่าต่ำสุด (Minimum) ค่าสูงสุด (Maximum) ค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของข้อมูล และเปรียบเทียบปริมาณแคดเมียม ทองแดง ตะกั่ว และสังกะสี ที่สะสมอยู่ในเนื้อเยื่อของอวัยวะส่วนต่าง ๆ ของปลา ได้แก่ เหงือก อวัยวะสืบพันธุ์

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

ผล

ปริมาณโลหะหนักในอวัยวะส่วนต่าง ๆ ของปลาทุและปลากุเร

จากตัวอย่างปลาทุจำนวน 15 ตัว น้ำหนักตัวระหว่าง 79.52-111.45 ก. น้ำหนักเฉลี่ย 90.72 ก. ความยาวระหว่าง 15.20-20.10 ซม. ความยาวเฉลี่ย 19.42 ซม. ปลากุเรจำนวน 10 ตัว น้ำหนักตัวระหว่าง 244.59-360.80 ก. น้ำหนักเฉลี่ย 296.13 ก. ความยาวระหว่าง 24.00-37.00 ซม. ความยาวเฉลี่ย 33.33 ซม.

ผลจากการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดคือ แคดเมียม (Cd) ทองแดง (Cu) ตะกั่ว (Pb) และสังกะสี (Zn) ในเนื้อเยื่อของอวัยวะส่วนต่าง ๆ ได้แก่ เหงือก อวัยวะสืบพันธุ์ ลำไส้ ตับ และเนื้อ ของปลาทุ (*R. brachysoma*) พบว่าแคดเมียมมีการสะสมในตับมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.140 ± 0.172 มก./กก. โดยมีการสะสมในอวัยวะส่วนต่าง ๆ ตามลำดับดังนี้ ตับ > เหงือก > ลำไส้ > อวัยวะสืบพันธุ์ ทองแดงมีการสะสมในตับมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.290 ± 2.648 มก./กก. โดยมีการสะสมในอวัยวะส่วนต่าง ๆ ตามลำดับดังนี้ ตับ > เหงือก > อวัยวะ

สืบพันธุ์ > เนื้อ > ลำไส้ ตะกั่วมีการสะสมในลำไส้มากที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.999 ± 0.454 มก./กก. โดยมีการสะสมในอวัยวะส่วนต่าง ๆ ตามลำดับดังนี้ ลำไส้ > เหงือก > เนื้อ > ตับ > อวัยวะสืบพันธุ์ และสังกะสีมีการสะสมในเหงือกมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 144.786 ± 13.705 มก./กก. โดยมีการสะสมในอวัยวะส่วนต่าง ๆ ตามลำดับดังนี้ เหงือก > อวัยวะสืบพันธุ์ > ลำไส้ > ตับ > เนื้อ (Table 1)

สำหรับผลจากการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดคือ ทองแดง ตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสี ในเนื้อเยื่อของอวัยวะส่วนต่าง ๆ ของปลากุเร (*E. tetradactylum*) พบว่า แคดเมียมมีการสะสมในตับมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.460 ± 0.081 มก./กก. โดยมีการสะสมในอวัยวะส่วนต่าง ๆ ตามลำดับดังนี้ ตับ > เหงือก > ลำไส้ > อวัยวะสืบพันธุ์ > เนื้อ ทองแดงมีการสะสมในตับมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.550 ± 1.939 มก./กก. โดยมีการสะสมในอวัยวะส่วนต่าง ๆ ตามลำดับดังนี้ ตับ > เหงือก > ลำไส้ > อวัยวะสืบพันธุ์ > เนื้อ ตะกั่วมีการสะสมในอวัยวะสืบพันธุ์มากที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.570 ± 0.660 มก./กก. โดยมีการสะสมในอวัยวะส่วนต่าง ๆ ตามลำดับดังนี้ อวัยวะสืบพันธุ์ > ตับ > เหงือก > ลำไส้ > เนื้อ สังกะสีมีการสะสมในตับมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 85.157 ± 36.610 มก./กก. โดยมีการสะสมในอวัยวะส่วนต่าง ๆ ตามลำดับดังนี้ ตับ > ลำไส้ > เหงือก > เนื้อ > อวัยวะสืบพันธุ์ (Table 1)

Table 1 The mean \pm SD in wet weight of heavy metal content (mg/kg) in different organs of *Rastrelliger brachysoma* and *Eleutheronema tetradactylum* from Mae Klong Bay, Samut Songkhram Province

Species	Organs	Mean \pm SD in wet weight of heavy metal content (mg/kg)			
		Cd	Cu	Pb	Zn
<i>Rastrelliger brachysoma</i>	Gill	0.744 \pm 0.316	3.339 \pm 2.002	3.624 \pm 2.458	144.786 \pm 13.705
	Gonad	0.280 \pm 0.050	2.703 \pm 0.712	1.670 \pm 1.720	103.173 \pm 8.722

Table 1 The mean \pm SD in wet weight of heavy metal content (mg/kg) in different organs of *Rastrelliger brachysoma* and *Eleutheronema tetradactylum* from Mae Klong Bay, Samut Songkhram Province (continue)

Species	Organs	Mean \pm SD in wet weight of heavy metal content (mg/kg)			
		Cd	Cu	Pb	Zn
	Intestine	0.583 \pm 0.164	1.328 \pm 0.334	3.999 \pm 0.454	59.177 \pm 10.264
	Liver	2.140 \pm 0.172	7.290 \pm 2.648	1.818 \pm 1.484	58.499 \pm 8.514
	Muscle	0.149 \pm 0.014	1.690 \pm 0.258	2.248 \pm 0.972	25.799 \pm 9.086
<i>Eleutheronema tetradactylum</i>	Gill	0.199 \pm 0.081	4.901 \pm 2.639	2.083 \pm 0.388	64.221 \pm 0.915
	Gonad	0.120 \pm 0.011	2.237 \pm 1.208	2.570 \pm 0.660	ND
	Intestine	0.152 \pm 0.040	2.920 \pm 0.399	1.743 \pm 0.560	71.192 \pm 5.454
	Liver	0.460 \pm 0.081	6.550 \pm 1.939	2.420 \pm 0.344	85.157 \pm 36.610
	Muscle	0.101 \pm 0.010	0.337 \pm 0.149	1.697 \pm 0.975	11.101 \pm 2.257

Note: ND (Not detected)

เปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในเนื้อเยื่อของอวัยวะส่วนต่าง ๆ ของปลาทุ

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในเนื้อเยื่อของอวัยวะส่วนต่าง ๆ ของปลาทุ (Table 1, Figure 1A) พบการสะสมของโลหะหนักในเหงือกเรียงตามลำดับดังนี้ สังกะสี>ตะกั่ว >ทองแดง>แคดเมียม โดยมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ย 144.786 \pm 13.705 มก./กก., 3.624 \pm 2.458 มก./กก., 3.339 \pm 2.002 มก./กก. และ 0.744 \pm 0.316 มก./กก. ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบค่าทางสถิติแล้วพบว่า สังกะสีมีค่าความแตกต่างกับตะกั่ว แคดเมียม และทองแดงกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) แต่ความเข้มข้นของตะกั่ว แคดเมียม และทองแดงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \geq 0.05$) ในขณะที่การสะสมโลหะหนักในอวัยวะสืบพันธุ์ พบการสะสมของโลหะหนักดังนี้ สังกะสี>ทองแดง>ตะกั่ว>แคดเมียม มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ย 103.173 \pm 8.722 มก./กก., 2.703 \pm 0.712 มก./กก., 1.670 \pm 1.720 มก./กก. และ 0.280 \pm 0.050 มก./กก.

ตามลำดับ ซึ่งค่าของสังกะสี มีค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับ ทองแดง ตะกั่ว และแคดเมียม ($P \leq 0.05$) ถัดมาที่การสะสมของโลหะหนักในลำไส้ พบการสะสมของสังกะสี มากที่สุดที่ความเข้มข้นเฉลี่ย 59.177 \pm 10.264 มก./กก. ตามด้วยการสะสมของตะกั่ว ที่ความเข้มข้น 3.999 \pm 0.454 มก./กก. ทองแดง 1.328 \pm 0.334 มก./กก. และแคดเมียม 0.583 \pm 0.164 มก./กก. ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบค่าทางสถิติแล้วพบว่า ตะกั่ว ทองแดง และแคดเมียม ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \geq 0.05$) แต่โลหะ 3 ตัวที่กล่าวมานี้ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับสังกะสี ($P \leq 0.05$) ในขณะที่ตบนั้น พบการสะสมของสังกะสีมาเป็นอันดับแรก เช่นเดียวกัน ที่ความเข้มข้นเฉลี่ย 58.499 \pm 8.514 มก./กก. รองลงมาคือทองแดง 7.290 \pm 2.648 มก./กก. แคดเมียม 2.140 \pm 0.172 มก./กก. และตะกั่ว มีการสะสมน้อยที่สุดที่ความเข้มข้น 1.818 \pm 1.484 มก./กก. ความเข้มข้นของโลหะหนักระหว่าง ตะกั่ว ทองแดง และแคดเมียม เมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าทาง

สถิติแล้วไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \geq 0.05$) แต่มีความแตกต่างกับค่าความเข้มข้นของสังกะสีอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) และสุดท้ายคือส่วนของเนื้อ มีการสะสมของโลหะหนักเฉลี่ยมากที่สุดตามลำดับคือ สังกะสี > ตะกั่ว > ทองแดง > แคดเมียม ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยตามลำดับดังนี้ 25.799 ± 9.086 มก./กก., 2.248 ± 0.972 มก./กก.,

1.690 ± 0.258 มก./กก. และ 0.149 ± 0.014 มก./กก. ตามลำดับ และเมื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าทางสถิติพบว่า ค่าความเข้มข้นของ ตะกั่ว ทองแดง และแคดเมียมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \geq 0.05$) แต่แตกต่างกับค่าความเข้มข้นของสังกะสีอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

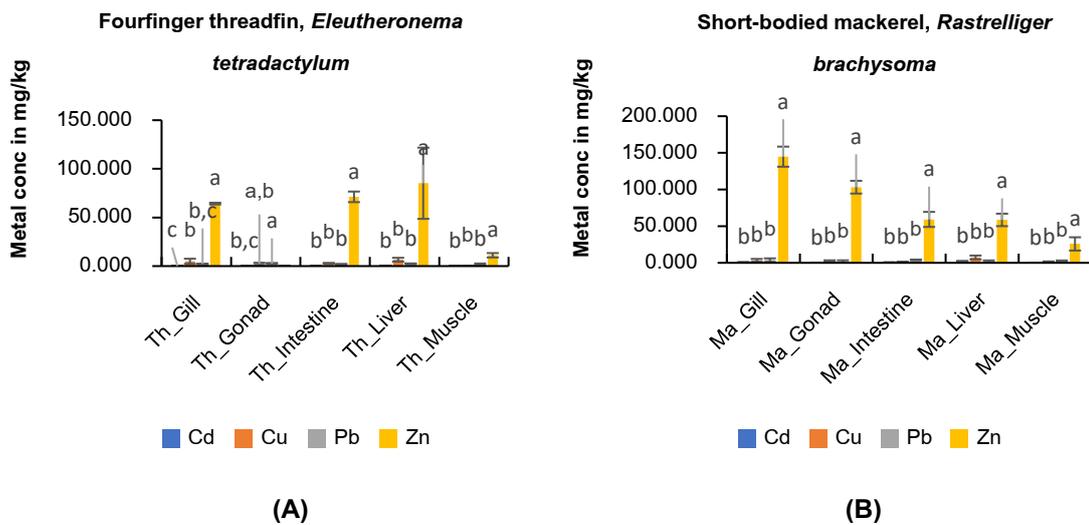


Figure 1 Concentration of heavy metals (Cd, Cu, Pb and Zn) in different organs of (A) *Rastrelliger brachysoma* and (B) *Eleutheronema tetradactylum* from Mae Klong Bay, Samut Songkhram Province. Values are statistically significant at $p \leq 0.05$. Values that do not share the same superscript letter (a-c) are significantly different.

เปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในอวัยวะส่วนต่าง ๆ ของปลากุเรว

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในเนื้อเยื่อของอวัยวะส่วนต่าง ๆ ของปลากุเรว (Table 1, Figure 1B) พบการสะสมของปริมาณโลหะหนักในเหงือกสูงสุดโดยมีความเข้มข้นเฉลี่ย 64.221 ± 0.915 มก./กก. คือสังกะสี รองลงมาคือทองแดง มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นอยู่ที่ 4.901 ± 2.639 มก./กก. ตามด้วยตะกั่ว 2.083 ± 0.388 มก./กก. และ แคดเมียม 0.1992 ± 0.081 มก./กก. ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ค่าสถิติพบว่า สังกะสีมีค่าความเข้มข้นแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับโลหะอื่น ๆ ($P \leq 0.05$) ในขณะที่ทองแดงกับตะกั่ว และตะกั่วกับแคดเมียม ไม่มีความแตกต่าง

กันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \geq 0.05$) แต่แคดเมียมมีค่าความเข้มข้นของโลหะหนักที่สะสมในเหงือกแตกต่างกับค่าความเข้มข้นของทองแดงอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ในขณะเดียวกัน เมื่อมาดูค่าความเข้มข้นของโลหะหนักในอวัยวะสืบพันธุ์พบว่า ค่าการสะสมของสังกะสี มีค่าเท่ากับ 0 คือไม่สามารถตรวจพบได้ แต่มีการสะสมของตะกั่วที่ความเข้มข้นเฉลี่ย 2.570 ± 0.660 มก./กก. ทองแดง 2.237 ± 1.208 มก./กก. และแคดเมียม 0.120 ± 0.011 มก./กก. ตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำมาเทียบค่าสถิติแล้วพบว่า ระหว่างตะกั่วกับทองแดง และระหว่างทองแดงกับแคดเมียม ไม่มีการสะสมโลหะหนักที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \geq 0.05$) แต่ตะกั่วและสังกะสี มีการสะสมของโลหะ

หนักในอวัยวะสืบพันธุ์ที่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ในส่วนของลำไส้ และตับมีค่าการสะสมของโลหะหนักที่ไปทิศทางเดียวกันคือ สังกะสี > ตะกั่ว > ทองแดง > แคดเมียม ซึ่งค่าสูงสุดของสังกะสีระหว่างลำไส้และตับ เท่ากับ 71.192 ± 5.454 มก./กก. และ 85.157 ± 36.610 มก./กก. ตามลำดับ ซึ่งถ้าเปรียบเทียบค่าทางสถิติพบว่า ค่าการสะสมของสังกะสีของอวัยวะทั้งสอง มีค่าความเข้มข้นที่แตกต่างจากตะกั่ว ทองแดง และแคดเมียม อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) และสุดท้ายคือเนื้อ พบมีการสะสมของสังกะสีมากที่สุด 11.01 ± 2.257 มก./กก. รองลงมาคือ ตะกั่ว ทองแดง และแคดเมียม โดยปริมาณความเข้มข้นของสังกะสีนี้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับตะกั่ว ทองแดง และแคดเมียม ($P \leq 0.05$)

วิจารณ์

ปริมาณโลหะหนักในเนื้อเยื่อของอวัยวะส่วนต่าง ๆ ของปลาทูและปลากุเร

ผลจากการวิเคราะห์ปริมาณการสะสมของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดคือ แคดเมียม (Cd) ทองแดง (Cu) ตะกั่ว (Pb) และสังกะสี (Zn) ในเนื้อเยื่อของอวัยวะส่วนต่าง ๆ ได้แก่ เหงือก อวัยวะสืบพันธุ์ ลำไส้ ตับ และเนื้อ ของปลาทู (*R. brachysoma*) และ ปลากุเร (*E. tetradactylum*) พบว่าสังกะสี มีปริมาณการสะสมในอวัยวะส่วนต่าง ๆ ในปลาทั้งสองชนิดมากที่สุด สอดคล้องกับงานของ Younis *et al.* (2015) ศึกษาการสะสมทางชีวภาพของโลหะหนักในปลาหมึก และครัสเตเชียน ที่จับได้จากทะเลแดง ประเทศซาอุดีอาระเบีย พบสังกะสี ในปริมาณมากที่สุด และมีการสะสมมากที่สุดที่เหงือก ตับ และเนื้อ สังกะสีจัดเป็นโลหะหนักที่มีความคงทนต่อการสลายตัว สังกะสีที่อยู่ในรูปของสังกะสีออกไซด์ (Zinc oxide) มีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำมากกว่าสารประกอบสังกะสีชนิดอื่น ๆ (USEPA, 1995) สังกะสีที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำ เป็นผลให้ปลาดูดกลืนสารปนเปื้อนผ่านเหงือกและหลอดอาหาร กลไกความเป็นพิษของสังกะสีนั้น เป็นประจวบกับสองขั้ว ซึ่งจะรบกวนการดูดซึมของแคลเซียม ไอออนในเนื้อเยื่อ เสี่ยงต่อการเกิดภาวะแคลเซียมในเลือดต่ำและทำให้ปลาตายได้ (Garai *et al.*, 2001)

อย่างไรก็ตาม ค่าปริมาณสังกะสีที่ได้จากการศึกษาค้างในเนื้อปลาที่นำมาบริโภค ยังต่ำกว่ามาตรฐานกำหนดของกระทรวงสาธารณสุขไทย (2529) และของสหภาพยุโรป (Official Journal of the European Union, 2006) ที่กำหนดไม่เกิน 100 มก./กก.

เปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในเนื้อเยื่อของอวัยวะส่วนต่าง ๆ ของปลาลาปลาทูและปลากุเร

ผลจากการวิเคราะห์ปริมาณการสะสมของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดคือ แคดเมียม ทองแดง ตะกั่ว และสังกะสี ในเนื้อเยื่อของอวัยวะส่วนต่าง ๆ ได้แก่ เหงือก อวัยวะสืบพันธุ์ ลำไส้ ตับ และเนื้อ ของปลาทู (*R. brachysoma*) และ ปลากุเร (*E. tetradactylum*) พบว่าแคดเมียมและทองแดงมีการสะสมในระดับมากที่สุด นอกจากนี้โลหะทั้ง 4 ชนิด ส่วนใหญ่ยังมีการสะสมในเหงือกในปริมาณค่อนข้างมากเช่นกัน ส่วนเนื้อพบการสะสมของโลหะทั้ง 4 ชนิดน้อยที่สุด สำหรับในปลากุเรพบการสะสมของตะกั่วและสังกะสี ในปริมาณที่มากในอวัยวะสืบพันธุ์และลำไส้ตามลำดับ และเมื่อเทียบค่าสถิติปริมาณการสะสมของโลหะหนักกับอวัยวะส่วนต่าง ๆ ของปลาสองชนิดที่ทำการศึกษาค้างพบว่าตับและเหงือกมีปริมาณการสะสมของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ส่วนเนื้อ มีปริมาณการสะสมของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดต่ำสุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Olayinka-Olagunju *et al.* (2012) ศึกษาการสะสมทางชีวภาพของโลหะหนักในปลาผิวน้ำและปลาหน้าดินจากแม่น้ำ Ogbese ที่ตั้งอยู่ทางตะวันตกเฉียงใต้ของไนจีเรีย พบว่าแนวโน้มของการสะสมของโลหะหนักในอวัยวะต่าง ๆ ของปลาที่ทำการศึกษาเป็นดังนี้คือ เหงือก > ตับ > เนื้อ และจากงานของ Rajeskumar & Li (2018) ศึกษาการสะสมทางชีวภาพของโลหะหนักในปลาที่จับได้จากอ่าว Meiliang บริเวณทะเลสาบ Taihu สาธารณรัฐประชาชนจีน พบการสะสมของโลหะหนักในอวัยวะต่าง ๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยพบสะสมมากที่สุดในระดับและเหงือก และน้อยที่สุดในเนื้อ จากผลการศึกษาค้างนี้พบว่าปริมาณการสะสมของโลหะทั้ง 4 ชนิด อยู่ในตับและเหงือกมากกว่าอวัยวะอื่น ๆ ซึ่งเหงือกจัดว่าเป็น

โลหะหนักในระยะยาว ทำให้เกิดอาการ วิงเวียนศีรษะ อ่อนแรง เหนื่อย เพลีย ปวดกล้ามเนื้อ ปวดข้อ แล้วแต่ชนิดของโลหะหนัก ซึ่งโลหะหนักยังมีความเป็นพิษต่อดับ ไต และสมอง โดยไปขัดขวางการทำงานของเอนไซม์ในกระบวนการเมตาบอลิซึม และเป็นสาเหตุให้เกิดการกลายพันธุ์และมะเร็ง (ธีรนาถ, 2563; กองมาตรฐานสิ่งแวดล้อม, 2530) อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีข้อมูลหรืองานวิจัยที่ศึกษาโดยตรงถึงผลกระทบของโลหะหนักที่สะสมในปลาต่อผู้บริโภคปลา ในพื้นที่อ่าวแม่กลอง ซึ่งอาจมีการศึกษาเพิ่มเติมและต่อเนื่อง ผลที่ได้จากการศึกษารั้งนี้ สามารถนำมาเป็นข้อมูลพื้นฐาน ในการสร้างความตระหนักในการวางแผนการดูแล ป้องกัน และจัดการสิ่งแวดล้อมของแหล่งน้ำในพื้นที่ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงสาธารณสุข. (2529). *มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน: ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 98 (พ.ศ. 2529)*. กรุงเทพฯ: กระทรวงสาธารณสุข
- กองมาตรฐานสิ่งแวดล้อม. (2530). *ปรอท: สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและการพลังงาน*. กรุงเทพฯ: กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และการพลังงาน
- ชัยพฤกษ์ วงศ์สุวรรณ. (2553). คุณภาพสิ่งแวดล้อมและแนวโน้มผลกระทบที่จะเกิดขึ้นต่อพื้นที่ชายฝั่งทะเลบริเวณปากแม่น้ำแม่กลอง. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี* 18(4), 38-49.
- ธีรนาถ สุวรรณเรือง. (2563). โลหะหนักปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม และผลกระทบต่อสุขภาพ. *วารสารวิจัยและพัฒนาระบบสุขภาพ*, 13(1), 1-7.
- วิกันดา ชัยบุตร. (2541). *การศึกษาปริมาณโลหะหนักในน้ำ ดินตะกอนและเนื้อเยื่อส่วนต่าง ๆ ของปลาบางชนิดในแม่น้ำแม่กลอง*. (วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต). กรุงเทพฯ: คณะประมงมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- สมชาย วิบุญพันธ์, ณรงค์ศักดิ์ คงชัย, วิวิธพันธ์ บุญยัง และ ทรงฤทธิ์ โชติธรรมโม. (2549). *การปนเปื้อนของสารโลหะหนักในสัตว์ทะเลบางชนิดบริเวณชายฝั่งอ่าวไทยตอนล่าง* (รายงานการวิจัย). กรุงเทพฯ: กรมประมง
- สาโรจน์ เริ่มดำรง, สาวิตรี แกเรียส, และ เกริก วงศ์สอนธรรม. (2552). *การปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำ และตะกอนดินบริเวณชายฝั่งทะเลของอ่าวไทยตอนบน*. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 47 สาขาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (น. 221-228). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- สำนักอุตสาหกรรมจังหวัดสมุทรสงคราม. (2552). *สถิติโรงงานอุตสาหกรรมจังหวัดสมุทรสงคราม*. สมุทรสงคราม: สำนักอุตสาหกรรมจังหวัดสมุทรสงคราม
- AOAC. (2000). *Official methods of analysis of AOAC* (17th ed.). Gaithersburg: AOAC International
- Chojnacka, K., & Mikulewicz, M. (2014). Bioaccumulation. *Encyclopedia of Toxicology* 14(3), 456-460. doi: 10.1016/B978-0-12-386454-3.01039-3
- El-Moselhy, K. M., Othman, A. I., Abd El-Azem, H., & El- Metwally, M. E. A. (2019). 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. doi: 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), 1-10.

- 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*. Retrieved September 14, 2022, from <http://data.europa.eu/eli/reg/2006/1881/oj>
- Olayinka-Olagunju, J.O., Dosumu, A.A., & Olatunji-Ojo, A.M. (2021). Bioaccumulation of heavy metals in pelagic and benthic fishes of Ogbese River, Ondo State, South-Western Nigeria. *Water, Air & Soil Pollution*, 232. doi: 10.1007/s11270-021-04987-7
- 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. doi: 10.1016/j.toxr ep.2018.01.007
- Rashed, M.N. (2001). Monitoring of environmental heavy metals in fish from Nasser Lake. *Environment International*, 27(1), 27-33. U.S. Environmental Protection Agency (USEPA) (1995). Zinc oxide; Toxic Chemical Release Reporting, Community Right-To-Know, *Federal Register*, 60, 47334-47337. doi: 10.1016/S0160-4120(01)00050-2
- 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. doi: 10.1007/BF03326011
- 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. doi: 10.1016/S0025-326X(98)00060-5
- Younis, A. M., Amin, H.F., Alkaladi, A., & Mosleh, Y.Y.I. (2015). Bioaccumulation of Heavy Metals in Fish, Squids and Crustaceans from the Red Sea, Jeddah Coast, Saudi Arabia. *Open Journal of Marine Science*, 5, 369-378. doi: 10.4236/ojms.2015.54030