วารสารสัตวแพทยศาสตร์ มข.
KKU Veterinary Journal
ISSN 0858-2297

RESEARCH ARTICLE

Bioaccumulation of arsenic, lead, and cadmium in Nile tilapia, water, and sediment from waste ponds in landfill of Khon Kaen municipality, Thailand

Suda Jailuang[1*], Piyawat Saipan[2]

[1]*Master student of Veterinary Public health program, Faculty of Veterinary Medicine, Khon Kaen University, Khon Kaen*
[2]*Division of Veterinary Public Health, Faculty of Veterinary Medicine, Khon Kaen University, Khon Kaen*
[*]***Corresponding author*** *E-mail: singsuda.19@gmail.com*

Received 30 August 2022, **Revised** 21 December 2022 **Accepted** 31 December 2022, **Published** 25 January 2023

Abstract

Introduction: Improper management of residential waste can cause contamination of heavy metals in the environment.

Objective: This study investigated As, Pb and Cd contamination and bioaccumulation in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) living in waste ponds in Khon Kaen municipal landfill.

Materials and Methods: Ten sediment and 10 water samples and 30 Nile tilapias were randomly sampled from waste ponds located in the area of landfill. Fish organs including muscle, gills and liver were collected for heavy metal determination and bioaccumulation factor evaluation.

Results: The level of As, Pb and Cd in the water and sediment was 0.016±0.004, 0.032±0.004 and 0.009±0.003 mg/l, respectively for the water, and 49.767±6.309, 86.663±4.321 and 20.474±3.616 mg/kg, respectively for the sediment. All of the water and sediment samples contained As higher than the maximum limit issued by the National Environment Board of Thailand. The average level of As, Pb and Cd detected in fish muscle was 0.067±0.135, 0.078±0.173 and 0.040±0.102 mg/kg, respectively. When compared between muscle, gills and liver of the fish, significant difference was found ($P<0.05$ for every studied heavy metal). The bioaccumulation factor in fish muscle was 4.08, 2.44 and 4.43 for As, Pb, and Cd, respectively. The level of Pb higher than the permissible limit defined by the National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards of Thailand was detected in 10% of the fish.

Conclusion: Ten percent of the Nile tilapias living in waste ponds of the landfill showed Pb accumulation in the muscle that was higher than the permissible limit for consumption. All of the water and sediment samples contained As in the amount that was higher than the maximum limit for habitat environment. This study identified hazard from consumption of fish from waste ponds and showed the contamination pathway that begins from the waste landfill to the environments and eventually to consumers.

Keywords: Nile tilapia, heavy metal, bioaccumulation

บทความวิจัย

การสะสมทางชีวภาพของสารหนู ตะกั่ว และแคดเมียมของปลานิล น้ำ และตะกอนดินจากบ่อรวบรวมน้ำบริเวณแหล่งกำจัดขยะของเทศบาลนครขอนแก่น

สุดา จายหลวง[1*], **ปิยวัฒน์ สายพันธุ์**[2]

[1]*นักศึกษาปริญญาโท หลักสูตรสัตวแพทย์สาธารณสุข คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, จังหวัดขอนแก่น*

[2]*กลุ่มวิชาสัตวแพทย์สาธารณสุข คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, จังหวัดขอนแก่น*

**ผู้ประพันธ์บรรณกิจ อีเมล์: singsuda.19@gmail.com*

บทคัดย่อ

บทนำ การปนเปื้อนของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมอาจเกิดได้จากการกำจัดขยะที่ไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอ

วัตถุประสงค์ เพื่อหาปริมาณการสะสมของสารหนู ตะกั่ว และแคดเมียมในปลานิล (*Oreochromis niloticus)* ที่อาศัยในบ่อรวบรวมน้ำที่อยู่ในแหล่งกำจัดขยะของเทศบาลนครขอนแก่น และการวัดค่าสะสมทางชีวภาพในปลา

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ เก็บตัวอย่างน้ำและตะกอนดินจากบ่อรวบรวมน้ำในแหล่งกำจัดขยะของเทศบาลนครขอนแก่น จำนวนชนิดละ 10 ตัวอย่าง และตัวอย่างปลานิลที่อาศัยในบ่อจำนวน 30 ตัว โดยเก็บชิ้นส่วนแยกเป็นกล้ามเนื้อ เหงือก และตับของปลา เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักตามวิธีมาตรฐานและประเมินค่าการสะสมทางชีวภาพ

ผลการศึกษา ปริมาณของสารหนู ตะกั่ว และแคดเมียมในน้ำมีค่าเฉลี่ย 0.016±0.004, 0.032±0.004 และ 0.009±0.003 mg/l ตามลำดับ ปริมาณที่พบในตะกอนดินมีค่าเฉลี่ย 49.767±6.309, 86.663±4.321 และ 20.474±3.616 mg/kg ตามลำดับ ตัวอย่างน้ำและตะกอนดินทั้งหมดมีค่าสารหนูสูงเกินกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดโดยคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ค่าเฉลี่ยของสารหนู ตะกั่ว และแคดเมียมที่สะสมในกล้ามเนื้อปลานิลมีค่า 0.067±0.135, 0.078±0.173 และ 0.040±0.102 mg/kg ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักระหว่างกล้ามเนื้อ เหงือก และตับปลา พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทั้งสามชนิดของโลหะหนัก ($P<0.05$ ทุกชนิด) ค่าการสะสมทางชีวภาพในกล้ามเนื้อปลามีค่า 4.08, 2.44 และ 4.43 สำหรับสารหนู ตะกั่ว และแคดเมียมตามลำดับ สัดส่วนของปลาที่มีค่าตะกั่วในกล้ามเนื้อเกินกว่าค่าสูงสุดที่กำหนดโดยสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ คิดเป็นร้อยละ 10

สรุป ปลานิลที่อาศัยในบ่อรวบรวมน้ำบริเวณแหล่งกำจัดขยะถึงร้อยละ 10 มีค่าปริมาณตะกั่วที่พบในกล้ามเนื้อสูงกว่าค่ามาตรฐานสำหรับอาหาร และปริมาณสารหนูทั้งในน้ำและตะกอนดินทุกตัวอย่างมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานด้านสิ่งแวดล้อม ผลการศึกษาแสดงถึงอันตรายจากการบริโภคปลานิลที่มาจากสิ่งแวดล้อมที่ปนเปื้อนโลหะหนัก และแสดงถึงเส้นทางการปนเปื้อนของโลหะหนักจากแหล่งกำจัดขยะสู่ผู้บริโภคผ่านทางห่วงโซ่อาหาร

คำสำคัญ: ปลานิล, โลหะหนัก, การสะสมทางชีวภาพ

บทนำ

โลหะหนักที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมมาจากโลหะหนักที่มีอยู่ตามธรรมชาติ และจากการดำเนินกิจกรรมของมนุษย์ องค์กรระดับโลกได้รายงานว่าสารหนู ตะกั่ว และแคดเมียม เป็นภัยคุกคามที่สำคัญของโลหะหนักที่มีต่อสุขภาพมนุษย์ และจัดให้สารหนู ตะกั่ว และแคดเมียมเป็นโลหะหนักอันดับที่ 1, 2 และ 7 ที่มีศักยภาพก่อความรุนแรงและอันตรายต่อสุขภาพมนุษย์ (ATSDR, 2022) ซึ่งหากไม่มีการบำบัดของเสียจากอุตสาหกรรม หรือการจัดการระบบกำจัดขยะมูลฝอยที่มีประสิทธิภาพแล้ว โลหะหนักเหล่านี้จะปนเปื้อนและตกค้างในสิ่งแวดล้อมทั้งดิน น้ำ หรืออากาศ ก่อนที่จะปนเปื้อนเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารของสัตว์และมนุษย์ในที่สุด

มาตรฐานการปนเปื้อนของสารหนู ตะกั่ว และแคดเมียมในอาหารของประเทศไทยมีการกำหนดค่าแตกต่างกันไปตามชนิดของอาหาร เช่น ในเนื้อไก่และสุกร สารหนู ตะกั่ว และแคดเมียมถูกกำหนดไว้สูงสุดไม่เกิน 0.5 0.1 และ 0.05 mg/kg ตามลำดับ (ACFS, 2006) ส่วนในเนื้อปลานั้นถูกกำหนดไว้ที่ 2, 0.3 และ 1 mg/kg ตามลำดับ (Ministry of Public Health, 2020)

การสะสมของโลหะหนักในสิ่งมีชีวิตที่มาจากดินหรือน้ำที่สัตว์ใช้อาศัย สามารถวัดค่าออกเป็นตัวเลข โดยเรียกค่านั้นว่าค่าการสะสมทางชีวภาพ (Bioaccumulation factor; BAF) ซึ่งประเมินโดยคำนวณจากปริมาณโลหะหนักที่ตรวจพบในเนื้อเยื่อของสัตว์ตัวอย่างที่ศึกษาต่อปริมาณโลหะหนักในน้ำที่เก็บตัวอย่างจากแหล่งที่สิ่งมีชีวิตนั้นอยู่อาศัย (Crookes and Brooke, 2011) ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการเฝ้าระวังการตกค้างของโลหะหนักในเนื้อเยื่อของสัตว์ที่อาศัยอยู่ในแหล่งดินและน้ำ โดยไม่ต้องเก็บตัวอย่างจากเนื้อเยื่อสัตว์โดยตรง และสามารถนำค่าการสะสมทางชีวภาพไปประกอบการพิจารณากำหนดความเป็นพิษต่อสัตว์ได้ (Ahmet et al., 2019)

จังหวัดขอนแก่นเป็นพื้นที่ที่มีปริมาณขยะตกค้างมากถึง 8 แสนตันอยู่ที่อันดับ 8 ของประเทศ และอันดับ 1 ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ นอกจากนี้ยังมีขยะใหม่เพิ่มเข้ามาเพื่อรอการกำจัดอีกวันละ 1,224 ตันต่อวัน ในจำนวนนี้เป็นขยะติดเชื้อ 4.12 ตันต่อวัน ขยะอันตรายอีก 300 กิโลกรัมต่อวัน โดยขยะในเขตเทศบาลนครขอนแก่นมีปริมาณมากที่สุดถึงวันละ 210 ตันต่อวัน (Public Relations Department Region 1, 2018) พื้นที่บริเวณฝังกลบขยะของเทศบาลนครขอนแก่น ตั้งอยู่ที่ ถนนมิตรภาพ (ขอนแก่น-อุดรธานี) กิโลเมตรที่ 17 บ้านคำบอน ตำบลโนนท่อน อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น เนื้อที่ 98 ไร่ พื้นที่ขนาดใหญ่และมีบ่อรวบรวมน้ำทิ้งจำนวน 8 บ่ออยู่ภายในบริเวณ โดยบ่อรวบรวมน้ำทิ้งดังกล่าวมีเกษตรกรบางส่วนใช้เป็นบ่อเลี้ยงปลานิลและขายปลาเพื่อการบริโภค รวมทั้งอาจมีปลานิลจากธรรมชาติอาศัยอยู่ ข้อมูลการศึกษาการสะสมสารหนู ตะกั่ว และแคดเมียมในปลานิลที่มีการเลี้ยงหรือจับในบ่อกำจัดขยะยังมีไม่มาก และข้อมูลการสะสมทางชีวภาพยังมีจำกัด จึงเป็นที่มาและความสำคัญของการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการสะสมทางชีวภาพของสารหนู ตะกั่ว และแคดเมียมในปลานิลที่เก็บตัวอย่างจากบ่อรวบรวมน้ำในแหล่งกำจัดขยะของเทศบาลนครขอนแก่น

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

การเก็บตัวอย่างทั้งหมดทำในช่วงปลายเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2562 บริเวณแหล่งกำจัดขยะของเทศบาลนครขอนแก่น ตำบลโนนท่อน อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ที่มีบ่อรวบรวมน้ำทิ้งจำนวน 8 บ่ออยู่ภายในบริเวณ

การเก็บตัวอย่างน้ำ

เก็บตัวอย่างน้ำจากบ่อรวบรวมน้ำในแหล่งกำจัดขยะ โดยเก็บตัวอย่างให้กระจายทั่วพื้นที่รวม 10 จุด ใช้เครื่องเก็บตัวอย่างน้ำหรือขวดเก็บตัวอย่างน้ำ (โพลีเอทิลีน) จุ่มลงไปใต้ผิวน้ำในระดับความลึก 50 cm แล้วเติมด้วย 10% ของกรดไนตริคปริมาณ 2 ml ทำการคัดแยกส่วนที่เป็นของแข็งออกจากตัวอย่างน้ำแล้วกรองผ่านกระดาษกรองให้ได้ปริมาตรประมาณ 200 ml เพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าโลหะหนักต่อไป (Davies et al., 2006) รวมตัวอย่างน้ำทั้งหมด 10 ตัวอย่าง

การเก็บตัวอย่างตะกอนดิน

เก็บตัวอย่างตะกอนดินที่บริเวณกึ่งกลางและริมขอบของบ่อน้ำจำนวนรวม 10 จุด เพื่อให้ได้ตัวอย่างที่กระจายทั่วพื้นที่ โดยใช้ Ekman's grab เก็บตัวอย่างดินประมาณ 100 g จากนั้นอบตะกอนดินที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส ใน Hot air oven เป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 mm และเก็บตัวอย่างไว้เพื่อวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป (Pyle et al., 2005) รวมตัวอย่างดิน 10 ตัวอย่าง

การเก็บตัวอย่างปลา

การเก็บตัวอย่างปลานิลเป็นการซื้อจากชาวประมงท้องถิ่น ซึ่งเป็นปลาที่จับหรือเลี้ยงในบ่อรวบรวมน้ำในแหล่งกำจัดขยะ ทำการคัดเลือกปลาที่มีขนาดใกล้เคียงกัน (น้ำหนักเฉลี่ย 870 g) บรรจุตัวอย่างปลาในถุงพลาสติกก่อนบรรจุตัวอย่างในกล่องน้ำแข็งขนส่งมายังห้องปฏิบัติการ เมื่อถึงห้องปฏิบัติการทำการชั่งน้ำหนักและวัดขนาดของปลาและล้างให้สะอาด จากนั้นหั่นแยกส่วน

กล้ามเนื้อของปลาจากทั้งสองด้านของตัวปลาเพื่อที่จะนำไปบดให้เป็นตัวอย่างเดียวกัน คัดแยกตัวอย่างตับและเหงือกของปลาล้างให้สะอาดแล้วนำไปปั่นบดรวมให้เป็นเนื้อเดียวกัน เก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เพื่อวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก 3 ชนิด คือ สารหนู ตะกั่ว และแคดเมียมต่อไป

การใช้ตัวอย่างปลาเพื่อการศึกษาครั้งนี้ได้รับการรับรองจาก คณะกรรมการจรรยาบรรณและมาตรฐานการเลี้ยงและการใช้สัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น รหัสโครงการเลขที่ จส.มข 16/2562 เมื่อวันที่ 21 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2562

การเตรียมตัวอย่างและวิเคราะห์โลหะหนัก

การเตรียมตัวอย่างอ้างอิงตามวิธีของ Ju et al. (2017) มีขั้นตอนโดยสรุปดังนี้ นำตัวอย่างที่ได้จากขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างแล้ว ไปเผาให้ตัวอย่างแห้งโดยใช้เครื่อง Electric Muffle Furnace MF-1511 (DAEYANG-ETS CO., LTD) โดยใช้อุณหภูมิที่ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง หรือจนกว่าน้ำหนักสุดท้ายของตัวอย่างไม่เปลี่ยนแปลงไปจากน้ำหนักที่วัดได้ก่อนนั้นแล้วนำตัวอย่างที่ทำการเผาแล้วเข้าสู่กระบวนการย่อยตัวอย่างด้วยกรดไนตริกและกรดไฮโดรคลอริก ตามวิธีที่กำหนดไว้ในคู่มือของการใช้ Microwave Digestion (Multiwave 3000-Microwave Digestion System, Anton Paar) นำตัวอย่างที่ย่อยแล้วไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักโดยใช้สารเคมีระดับเกรดคุณภาพสำหรับการวิเคราะห์วัสดุอ้างอิง (certified reference materials) สำหรับสารหนู ตะกั่ว และแคดเมียม และเพื่อป้องกันการปนเปื้อนเครื่องแก้วที่ใช้ในการเตรียมและวิเคราะห์ตัวอย่าง จึงทำการล้างทำความสะอาดด้วยดีเทอร์เจนต์และแช่ใน 10% กรดไนตริกไม่ต่ำกว่า 24 ชั่วโมง จากนั้นล้างจนหมดฤทธิ์กรดด้วยน้ำกลั่นบริสุทธิ์ปราศจากไอออนก่อนนำไปใช้งาน การวัดปริมาณสารหนู ตะกั่วและแคดเมียม ใช้เครื่องมือ Inductively coupled plasma mass spectrometry equipped with an octopole reaction system. (Agilent 7500c series, Palo Alto, CA, USA) การควบคุมคุณภาพของวิธีวิเคราะห์ทำโดยใช้สารละลายมาตรฐานและวัสดุอ้างอิงมาตรฐาน ตามวิธีของบริษัทห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด

การวิเคราะห์ข้อมูล

ทำการหาค่าสถิติเชิงพรรณา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุด ต่ำสุด และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณโลหะหนักในน้ำ ตะกอนดินและชิ้นส่วนของปลา และค่าสัดส่วนของตัวอย่างที่มีค่าโลหะหนักเกินกว่าค่ามาตรฐานในน้ำ ดิน หรืออาหาร เนื่องจากข้อมูลปริมาณโลหะหนักในชิ้นส่วนจากปลามีลักษณะการกระจายตัวไม่เป็นแบบปกติ การเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในชิ้นส่วนของปลาจึงใช้วิธี Kruskal-Wallis test ค่าต่ำสุดของสารหนู ตะกั่ว และแคดเมียมที่ห้องปฏิบัติการสามารถตรวจสอบได้เท่ากับ 0.01, 0.01 และ 0.003 mg/kg ตามลำดับ ตัวอย่างจากปลาที่มีค่าโลหะหนักต่ำกว่านี้จะไม่สามารถระบุค่าได้จึงใช้ค่าดังกล่าวในการวิเคราะห์ข้อมูล โปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลได้แก่ SPSS เวอร์ชัน 26.0 โดยกำหนดให้ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญอยู่ที่ระดับ $p<0.05$

การวิเคราะห์ค่าการสะสมทางชีวภาพในสิ่งมีชีวิต (Bioaccumulation factor; BAF) ทำตามวิธีของ Crookes and Brooke (2011) ซึ่งคำนวณโดยใช้ค่าเฉลี่ยปริมาณโลหะหนักในปลานิล (mg/kg) หารด้วยค่าเฉลี่ยปริมาณโลหะหนักในน้ำ (mg/l)

ผลการศึกษา

ปริมาณสารหนู ตะกั่วและแคดเมียม ในตัวอย่างน้ำ ตะกอนดินและปลา

ปริมาณเฉลี่ยของสารหนู ตะกั่ว และแคดเมียมในน้ำมีค่าเท่ากับ 0.016, 0.032 และ 0.009 mg/l ตามลำดับ ปริมาณเฉลี่ยในตะกอนดินมีค่าเท่ากับ 49.767, 86.663 และ 20.474 mg/kg ตามลำดับ (Table 1) ซึ่งค่าในน้ำจะต่ำกว่าในตะกอนดินในทุกชนิดโลหะ ผลการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า ปริมาณโลหะหนักมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกล้ามเนื้อ เหงือก และตับปลา ($P<0.05$ สำหรับโลหะหนักแต่ละชนิด) โดยปริมาณเฉลี่ยที่พบในกล้ามเนื้อจะมีค่าต่ำกว่าที่พบในเหงือกหรือตับปลาเสมอ Table 2)

ตัวอย่างน้ำทั้งหมดมีค่าสารหนูเกินกว่าค่าสูงสุด ที่กำหนดไว้ในประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 พ.ศ. 2537 สำหรับแหล่งน้ำผิวดินที่สามารถใช้ประโยชน์เพื่อการประมงได้ (Ministry of Natural Resources and Environment, 1994) (Table 3) ตัวอย่างตะกอนดินทั้งหมดมีค่าปริมาณสารหนูสูงเกินกว่าค่าสูงสุดที่กำหนดโดยคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ตามประกาศฉบับที่ 25 พ.ศ. 2547 สำหรับคุณภาพดินที่ใช้เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม (Ministry of Natural Resources and Environment, 2004) ไม่พบตัวอย่างน้ำและตะกอนดินที่มีค่าตะกั่วหรือแคดเมียมเกินกว่าค่าสูงสุดที่กำหนด ในตัวอย่างจากกล้ามเนื้อปลาพบว่าร้อยละ 10 ของตัวอย่างมีปริมาณตะกั่วสูงกว่าค่าสูงสุดที่กำหนดโดยกระทรวงสาธารณสุขตามประกาศฉบับที่ 414 พศ. 2563 (Ministry of Public Health, 2020)

Table 1. Accumulation of arsenic, lead, and cadmium in water and sediment

Heavy metal	Water (mg/l)		Sediment (mg/kg)	
	Mean±SD	Min-Max	Mean±SD	Min-Max
Arsenic	0.016±0.004	0.011-0.021	49.767±6.309	40.985-60.016
Lead	0.032±0.004	0.028-0.041	86.663±4.321	78.984-92.096
Cadmium	0.009±0.003	0.006-0.015	20.474±3.616	16.082-25.936

Table 2. Arsenic, lead, and cadmium in tilapia sampled from waste ponds

Heavy metal	Mean±SD (mg/kg) Median (Min-Max)			P-value*
	Muscle	Gills	Liver	
Arsenic	0.067±0.135 0.010 (0.010-0.562)	0.572±1.098 0.097 (0.010-4.802)	0.636±1.272 0.047 (0.010-5.022)	0.002
Lead	0.078±0.173 0.010 (0.010-0.826)	0.880±1.360 0.137 (0.002-4.456)	1.110±1.862 0.010 (0.010-6.766)	0.002
Cadmium	0.040±0.102 0.004 (0.003-0.528)	0.354±0.834 0.029 (0.003-4.106)	0.391±1.078 0.014 (0.003-5.726)	0.014

*Kruskal Wallis test

Table 3. Percentage of samples with exceeded amount of heavy metal

Sample type	Heavy metal	maximum limit* (mg/l or mg/kg)	Number of samples exceeding maximum limit (%)
Water (n=10)	As	0.01	10 (100%)
	Pb	0.05	0
	Cd	0.05	0
Sediment (n=10)	As	3.9	10 (100%)
	Pb	400	0
	Cd	37	0
Fish muscle (n=30)	As	2	0
	Pb	0.3	3 (10%)
	Cd	1	0

*Maximum limit defined by Water: Ministry of Natural Resources and Environment, 1994
Sediment: Ministry of Natural Resources and Environment, 2004
Fish: Ministry of Public Health, 2020

การสะสมทางชีวภาพของสารหนู ตะกั่ว และแคดเมียม

ผลการคำนวณค่าการสะสมทางชีวภาพของสารหนู ตะกั่ว และแคดเมียมในปลานิล (Table 4) พบว่าค่าการสะสมทางชีวภาพของโลหะหนักทั้งสามชนิดนี้มีค่าสูงสุดในตับ รองลงมาได้แก่เหงือกและกล้ามเนื้อปลาตามลำดับ (BAF: ตับ>เหงือก>กล้ามเนื้อ) ส่วนค่าการสะสมทางชีวภาพของโลหะหนักแต่ละชนิดในตัวอย่างจากปลา เรียงลำดับจากมากไปหาน้อย ได้แก่ แคดเมียม สารหนู และตะกั่ว (BAF: แคดเมียม>สารหนู>ตะกั่ว)

Table 4. Bioaccumulation factor (BAF) of arsenic, lead and cadmium in tilapia

Organ	As	Pb	Cd
Muscle	4.08	2.44	4.43
Gills	35.04	27.15	39.27
Liver	38.94	34.25	43.40

วิจารณ์

ปริมาณโลหะหนักในน้ำ

ปริมาณของตะกั่วและแคดเมียมในน้ำจากการศึกษาครั้งนี้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.032 และ 0.009 mg/l ตามลำดับ ซึ่งค่าทั้งสองนี้ต่ำกว่าค่าจากรายงานการศึกษาในแม่น้ำมูลที่พบว่าน้ำมีปริมาณตะกั่วอยู่ระหว่าง 27.38-31.80 mg/l และปริมาณแคดเมียมอยู่ระหว่าง 4.35-6.59 mg/l (Tanee et al., 2017) เมื่อเทียบกับค่าจากรายงานการศึกษาในบ่อบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนครขอนแก่น ที่รายงานค่าปริมาณตะกั่วและแคดเมียมไว้ที่ 1.69 และ 0.31 mg/l ตามลำดับ จะเห็นว่าค่าในการศึกษาครั้งนี้ต่ำกว่ามาก (Sungsitthisawad et al., 1999) การเก็บตัวอย่างในช่วงฤดูฝนในการศึกษาครั้งนี้อาจเป็นสาเหตุให้ค่าการปนเปื้อนในน้ำเจือจางลงได้

ปริมาณโลหะหนักในตะกอนดิน

ค่าเฉลี่ยปริมาณของตะกั่วและแคดเมียมในตะกอนดินจากการศึกษาครั้งนี้เท่ากับ 86.67 และ 20.47 mg/kg ตามลำดับ มีค่าตะกั่วใกล้เคียงและมีค่าแคดเมียมสูงกว่าค่าจากรายงานการศึกษาในแม่น้ำมูลที่พบว่าตะกอนดินมีค่าตะกั่วอยู่ระหว่าง 47.38-111.82 mg/kg และมีค่าแคดเมียมอยู่ระหว่าง 8.79-9.08 mg/kg (Tanee et al., 2017) และค่าทั้งสองนั้นยังสูงกว่าค่าที่พบในตะกอนดินจากบ่อบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนครขอนแก่นอีกด้วย (ตะกั่ว 3.28 และแคดเมียม 0.14 mg/kg) (Sungsitthisawad et al., 1999)

ปริมาณโลหะหนักในปลานิล

ค่าเฉลี่ยของแคดเมียมในกล้ามเนื้อปลานิลจากการศึกษาครั้งนี้ (0.04 mg/kg) ต่ำกว่าค่าที่ Sungsitthisawad et al. (1999) รายงานในการศึกษาปลานิลที่อาศัยในบ่อบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนครขอนแก่น (2.48 mg/kg) มีรายงานผลการศึกษาค่าโลหะหนักในปลาที่พบปริมาณโลหะหนักสะสมในเหงือกหรือตับมากที่สุด และสะสมในกล้ามเนื้อน้อยที่สุด (Ferreira et al., 2019; Licata et al., 2005; Tanee et al., 2017) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาครั้งนี้ ที่พบว่าค่าโลหะหนักในตับและเหงือกจะสูงกว่าค่าที่พบในกล้ามเนื้อ เพราะเหงือกเป็นจุดแรกที่โลหะหนักเข้าสู่ร่างกายของปลาโดยตรง ในขณะที่ตับเป็นแหล่งสะสมของโลหะหนักในปลา (Rajeshkumar and Li, 2018) ค่าการสะสมโลหะหนักในตับของปลาจึงมักถูกใช้เป็นตัวบ่งชี้ถึงสภาพการปนเปื้อนของน้ำ (Licata et al., 2005)

การเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน

ตัวอย่างน้ำทั้งหมดในการศึกษาครั้งนี้มีปริมาณสารหนูเกินกว่าค่ามาตรฐานสูงสุดที่กำหนดโดยคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (Ministry of Natural Resources and Environment, 1994) ส่วนในตะกอนดินพบว่าทุกตัวอย่างมีปริมาณสารหนูอยู่ในระดับที่เกินกว่าค่ามาตรฐานสูงสุดเช่นกัน (Ministry of Natural Resources and Environment, 2004) ผลการศึกษานี้แสดงถึงอันตรายจากสารหนูที่ปนเปื้อนอยู่ในบ่อรวบรวมน้ำบริเวณแหล่งกำจัดขยะของเทศบาลนครขอนแก่น การนำปลาไปเลี้ยงในบ่อเหล่านี้จึงเสี่ยงต่อการที่ผู้บริโภคจะได้รับอันตรายจากการปนเปื้อนโลหะหนักได้ อย่างไรก็ตาม การศึกษาครั้งนี้ไม่พบตัวอย่างเนื้อปลาที่มีปริมาณสารหนูเกินกว่าค่ามาตรฐานสูงสุดที่กำหนดโดยกระทรวงสาธารณสุข (Ministry of Public Health, 2020) แต่พบตัวอย่างเนื้อปลาถึงร้อยละ 10 ที่มีปริมาณตะกั่วเกินกว่าค่ามาตรฐาน

ค่าการสะสมทางชีวภาพ (BAF)

การศึกษาครั้งนี้พบว่าแคดเมียมมีค่าการสะสมทางชีวภาพมากกว่าสารหนูและตะกั่ว ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการศึกษาของ Kakar et al. (2020) ที่พบว่าค่าการสะสม

ทางชีวภาพของแคดเมียมนั้นสูงกว่าตะกั่ว ค่าการสะสมทางชีวภาพวัดจากปลาทุกตัวในการศึกษาครั้งนี้มีค่าต่ำกว่า 1,000 ที่ถือเป็นเกณฑ์ขั้นต่ำ หากเกินกว่าเกณฑ์นี้จึงจะจัดว่าเป็นระดับการสะสมที่เป็นอันตราย (Ahmet et al., 2019)

สรุป

ปริมาณสารหนูทั้งในน้ำและตะกอนดินทุกตัวอย่างจากบ่อรวบรวมน้ำบริเวณแหล่งกำจัดขยะมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานสูงสุดด้านสิ่งแวดล้อม และปลานิลที่อาศัยในบริเวณดังกล่าวถึงร้อยละ 10 มีค่าปริมาณตะกั่วที่พบในกล้ามเนื้อสูงกว่าค่ามาตรฐานสูงสุดสำหรับอาหาร แม้ว่าค่าการสะสมทางชีวภาพจะยังไม่จัดว่าเป็นระดับการสะสมที่ต้องเฝ้าระวังใกล้ชิด แต่ผลการศึกษาได้แสดงถึงอันตรายจากการบริโภคปลานิลที่มาจากสิ่งแวดล้อมที่ปนเปื้อนโลหะหนัก และแสดงถึงเส้นทางการปนเปื้อนของโลหะหนักจากแหล่งกำจัดขยะสู่ผู้บริโภคผ่านทางห่วงโซ่อาหาร

References

ACFS (National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards). 2006. Thai Agricultural Standard: TAS 9007-2005. Ministry of Agriculture and Cooperatives.

Ahmed ASS, Rahman M, Sultana S, Babu SMOF, Sarker MSI. 2019. Bioaccumulation and heavy metal concentration in tissues of some commercial fishes from the Meghna River Estuary in Bangladesh and human health implications. Mar Pollut Bull 145, 436-447.

ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry). 2022. Substance Priority List. U.S. Department of Health and Human Services. Atlanta, Georgia USA [Cited 2022 Nov 1]. Available from: https://www.atsdr.cdc.gov/spl/index.html#2022spl

Crookes M, Brooke Dave. 2011. Estimation of fish bioconcentration factor (BCF) from depuration data. Environment Agency, Horizon House, Bristol, UK. 230 pp.

Davies OA, Allison ME, Uyi HS. 2009. Bioaccumulation of heavy metals in water, sediment and periwinkle (*Tympanotonus fuscatus* var radula) from the Elechi Creek, Niger Delta. Afr J Biotechnol 5(10), 968-973.

Ferreira NS, Oliveira LHB, Agrelli V, de Oliveira AF, Nogueira ARA, Oliveira A, Gonzalez MH. 2019. Bioaccumulation and acute toxicity of As (III) and As (V) in Nile tilapia (Oreochromis niloticus). Chemosphere 217, 349-354.

Ju YR, Chen CW, Chen CF, Chuang XY, Dong CD. 2017 Assessment of heavy metals in aquaculture fishes collected from southwest coast of Taiwan and human consumption risk. Int Biodeterior Biodegradation 124, 314-325.

Kakar A, Hayat MT, Abbasi AM, Pervez A, Mahmood Q, Farooq U, Akbar TA, Ali S, Rizwan M, El-Serehy HA, Abdel-Daim MM. 2020. Risk Assessment of Heavy Metals in Selected Marine Fish Species of Gadani Shipbreaking Area and Pakistan. *Animals* (Basel) 10(10), 1738. https://doi.org/10.3390/ani10101738

Licata P, Trombetta D, Cristani M, Naccari C, Martino D, Calo M., Naccari F. 2005. Heavy Metals in Liver and Muscle of Bluefin Tuna (*Thunnus thynnus*) Caught in the Straits of Messina (Sicily, Italy). Environ Monit Assess 107, 239–248.

Ministry of Natural Resources and Environment. 1994. Announcement of National Environment Committee No. 8. Standard level on water surface quality. [In Thai]

Ministry of Natural Resources and Environment. 2004. Announcement of National Environment Committee No. 25. Standard level on soil quality. [In Thai]

Ministry of Public Health. 2020. Notification No 414 B.E. 2563. Standards for Contaminants in Food [In Thai].

Public Relations Department Region 1. 2018. General Public Information. The Government Public Relations Department, Thailand. [Cited 2019 May 21] Available from: https://region1.prd.go.th/th/content/category/index/id/9

Pyle GG, Rajotte JW, Couture P. 2005. Effects of industrial metals on wild fish populations along a metal contamination gradient. Ecotoxicol Environ Saf 61(3), 287-312.

Rajeshkumar S, Li X. 2018. Bioaccumulation of heavy metals in fish species from the Meiliang Bay, Taihu Lake, China. Toxicol Rep 19(5), 288-295.

Sungsitthisawad W, Nienvitoon T, Inmuang U, Thiramanus T. 1999. Bioaccumulation of heavy metals in Aquatic Biota from Khon Kaen City wasterwater treatment system. KKU Research J 4(2), 63-73.

Tanee T, Punsombut P, Chaveerach A, Sudmoon R, Saowakoon S. 2017. Bioaccumulation of heavy metals in water, sediment and fish from Mun river. J Fish Tech Res 11(1), 82-92.