

นิพนธ์ต้นฉบับ

Original Article

การประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพจากการบริโภคลูกอ๊อด 3 ชนิดที่มีการปนเปื้อนโลหะหนักบริเวณรอบแหล่งฝังกลบมูลฝอยอิเล็กทรอนิกส์ จังหวัดกาฬสินธุ์

Health risk assessment of exposure to heavy metals via consumption of three tadpole species found in surrounding electronic waste dumpsite in Kalasin Province

สมศักดิ์ อินทมาต¹Somsak Intamat¹ดาวประกาย หล้างาม¹Dawprakay Ya-ngam¹วิศรา รักษากดี¹Varitsara Raksapakdee¹ลำไย ณรัตน์พันธ์²Lamyai Neeratanaphan²¹โรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชธาตุพนม¹Thatphanom Crown Prince Hospital²คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น²Faculty of Science, Khon Kaen University

DOI: 10.14456/dcj.2022.8

Received: June 25, 2021 | Revised: July 19, 2021 | Accepted: July 20, 2021

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพจากการบริโภคลูกอ๊อด 3 ชนิด ได้แก่ ลูกอ๊อดอึ่งบ้าน (*Kaloula pulchra*) ลูกอ๊อดกบหนอง (*Fejervarya limnocharis*) และลูกอ๊อดกบนา (*Hoplobatrachus rugulosus*) ที่ปนเปื้อนโลหะหนัก ได้แก่ สารหนู แคดเมียม โครเมียม ตะกั่ว นิกเกิล ทองแดง และแมงกานีส และเพื่อศึกษาปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนัก ในน้ำ ตะกอนดิน และในลูกอ๊อดบริเวณรอบแหล่งฝังกลบมูลฝอยอิเล็กทรอนิกส์ อำเภอม้องชัย จังหวัดกาฬสินธุ์ วิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในน้ำ ตะกอนดิน และลูกอ๊อด ด้วยเครื่อง inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES) ทำการประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพจากการบริโภคลูกอ๊อดที่มีการปนเปื้อนโลหะหนักจากค่า hazard quotient (HQ) ผลการศึกษาพบว่า ตัวอย่างน้ำมีโลหะหนักทุกชนิดเกินค่ามาตรฐาน คุณภาพแหล่งน้ำในตะกอนดินมีการปนเปื้อนสารหนูเกินค่ามาตรฐาน คุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์นอกเหนือจากการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม ส่วนการปนเปื้อนของโลหะหนักในลูกอ๊อด ทั้ง 3 ชนิดพบว่า ปริมาณสารหนู โครเมียม และตะกั่ว เกินค่ามาตรฐานอาหารปนเปื้อน (0.1, 1.0 และ 0.3 มก/กก.) ส่วนแคดเมียมมีค่าเกินมาตรฐาน (0.5 มก/กก.) ในตัวอย่างลูกอ๊อดกบหนอง จากผลการประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพจากการบริโภคลูกอ๊อดที่มีการปนเปื้อนโลหะหนัก พบว่า ตะกั่วมีค่า HQ เกิน 1 ในตัวอย่างลูกอ๊อดทุกชนิด และสารหนูมีค่า HQ เกิน 1 ในลูกอ๊อดกบหนอง ดังนั้น หากไม่มีการจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่เหมาะสม จะทำให้เกิดการรั่วไหลของสารพิษปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมและจะเป็นอันตรายต่อสุขภาพของประชาชนในพื้นที่และระบบนิเวศทั้งในระยะสั้นและระยะยาว

ติดต่อผู้พิมพ์ : สมศักดิ์ อินทมาต

อีเมล : suwanwisit@yahoo.com

Abstract

This research was conducted to assess health risks from exposure to heavy metals (arsenic, cadmium, chromium, lead, nickel, copper, and manganese) via consumption of three tadpole species (*Kaloula pulchra*, *Fejervarya limnocharis*, and *Hoplobatrachus rugulosus*) found in the surrounding areas of an electronic waste dumpsite in Khong Chai district, Kalasin province. Heavy metals contamination in water, sediment, and three tadpole species were assessed. The samples were analyzed for heavy metals using inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES). Health risk assessments through three tadpole species consumption was conducted based on hazard quotient (HQ). The results found that all heavy metal concentration in water samples exceeded the standards for water sources, whereas arsenic concentration in sediment samples was found to have exceeded the standards for soil used for the purposes other than agricultural and residential purposes. Regarding heavy metal contamination in three tadpole species, it was found that arsenic, chromium, and lead concentration exceeded the standard contamination in foods (at 0.1, 1.0 and 0.3 mg/kg, respectively), whereas cadmium concentration (0.5 mg/kg) exceeded the standard level only in *Fejervarya limnocharis*. Health risk assessment of exposure to heavy metals through the consumption of three tadpole species found that the HQ values of lead in three tadpole species were more than 1, whereas the HQ of arsenic was more than 1 only in *Fejervarya limnocharis* tadpole. E-waste disposal that was not appropriately managed has led to contamination of toxic substances into the environments and detrimental impacts to human health and ecosystem both in the short and long term.

Correspondence: Somsak Intamat

E-mail: suwanwisit@yahoo.com

คำสำคัญ

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ, โลหะหนัก, มูลฝอยอิเล็กทรอนิกส์

Keywords

health risk assessment, heavy metals, electronic waste

บทนำ

ขยะอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Waste: E-waste) คือ ซากผลิตภัณฑ์ในกลุ่มเครื่องใช้ไฟฟ้า และซากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดต่างๆ ที่ใกล้หมดอายุการใช้งานและล้าสมัย กลายเป็นขยะถูกทิ้งหรือถูกส่งต่อไปยังสถานีรีไซเคิล หรือร้านรับซื้อของเก่า เพื่อนำไปคัดแยกชิ้นส่วนและกำจัดเศษซากของอุปกรณ์ที่เหลือ ในยุคที่ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีได้พัฒนาระบบการสื่อสารและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ให้รัดกุมไปอย่างรวดเร็ว ได้ส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมของกลุ่มผู้บริโภค โดยเฉพาะการเปลี่ยนเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์

อิเล็กทรอนิกส์ใหม่ๆ ทำให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ถูกทิ้งมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นทุกปี โดยในปี 2562 มีปริมาณของเสียอันตราย 648,208 ตัน เพิ่มขึ้นจากปี 2561 ร้อยละ 1.60 เป็นซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ 421,335 ตัน (ร้อยละ 65.00) และของเสียอันตรายจากชุมชนประเภทอื่นๆ เช่น แบตเตอรี่ ถ่านไฟฉาย ภาชนะบรรจุสารเคมี กระป๋องสเปรย์ 226,873 ตัน (ร้อยละ 35.00) แนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากปัจจุบันมีความต้องการและนิยมใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มากขึ้น⁽¹⁾ การจัดการของเสียอันตรายยังเป็นปัญหาสำคัญ สาเหตุเนื่องจากประชาชน

ยังขาดความตระหนักรู้ มีการลักลอบทิ้งของเสียอันตรายปนเปื้อนกับขยะมูลฝอย ไม่มีการคัดแยกจากบ้านเรือนและเก็บรวบรวมเพื่อนำไปกำจัดยังระบบที่ถูกต้อง นอกจากนี้ องค์การปกครองส่วนท้องถิ่นยังไม่มีกฎระเบียบรองรับในการคัดแยกของเสียอันตรายจากขยะมูลฝอยทั่วไป รวมถึงยังไม่มีกฎหมายที่จะนำมากำกับดูแลให้ ภาคเอกชนรับผิดชอบในการจัดการซากเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ จนนำไปสู่ปัญหาสารพิษจากของเสียอันตรายที่กำจัดไม่ถูกต้องตกค้างและการปนเปื้อนในแหล่งน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน โดยเฉพาะโลหะหนัก⁽²⁾

พื้นที่ฝั่งกลบขยะอิเล็กทรอนิกส์ ตำบลโคกสะอาด อำเภอมัญจาคีรี จังหวัดกาฬสินธุ์ เป็นสถานที่ทิ้งขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่ใหญ่ที่สุดในประเทศไทย และชาวบ้านส่วนใหญ่มีอาชีพค้าและคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์เศษซากขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่เหลือจากการคัดแยกจะนำไปทิ้งกองไว้เพื่อรอเผา ก่อให้เกิดการรั่วไหลของสารพิษสู่สิ่งแวดล้อม จากการศึกษาของลำไย ณิรัตน์พันธ์ และคณะ⁽³⁾ และอุไรวรรณ ภูนาพลอย และคณะ⁽⁴⁾ ที่ทำการศึกษาการปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำ ตะกอนดิน ข้าว และปลาช่อน พบว่า มีการปนเปื้อนของโครเมียมและตะกั่วในปริมาณสูง สิ่งมีชีวิตที่ได้รับโลหะหนักเข้าสู่ร่างกาย แม้ในปริมาณน้อยแต่มีระยะเวลานานก็สามารถสะสมในร่างกายได้มากขึ้น จนเป็นอันตรายได้ในระยะยาวพิษของโลหะหนักสามารถทำลายระบบประสาท ทำลายเซลล์สมอง เปลี่ยนแปลงการทำงานของเอนไซม์ที่สำคัญหลายชนิด ทำให้กระบวนการหายใจระดับเซลล์ถูกขัดขวาง ทำให้เกิดการยับยั้งปฏิกิริยาทางชีวเคมีที่สำคัญของเซลล์และเกิดผลเสียกับอวัยวะเหล่านั้นของร่างกายสิ่งมีชีวิต⁽⁵⁻⁷⁾

สัตว์สะเทินน้ำสะเทินบก โดยเฉพาะกบและเขียดถูกนำมาใช้เป็นตัวบ่งชี้การสะสมของสารปนเปื้อนในการศึกษามลพิษมากขึ้น⁽⁸⁻¹⁰⁾ สัตว์เหล่านี้มีความสามารถในการดูดซับสารพิษผ่านผิวหนังและเยื่อหุ้มเหงือกของตัวอ่อนและไวต่อการเปลี่ยนแปลงในสภาพแวดล้อม ทำให้กบและเขียดถูกนำมาเป็นสิ่งมีชีวิตแบบ

จำลองสำหรับการประเมินผลกระทบของปัจจัยแวดล้อมที่อาจทำให้ประชากรสัตว์ครึ่งบกครึ่งน้ำลดลง นอกจากนี้ กบ เขียด และอึ่งอ่าง ทั้งระยะตัวอ่อนและตัวเต็มวัยมีความสำคัญต่อระบบนิเวศทางธรรมชาติ โดยเป็นอาหารของสัตว์หลายชนิดรวมถึงมนุษย์ โดยเฉพาะประชาชนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่นิยมนำลูกอ๊อดมาปรุงเป็นอาหาร จากการศึกษาของพรภิไล ธนอมสงัด⁽¹¹⁾ พบว่า กบนาตัวเต็มวัยบริเวณพื้นที่ฝั่งกลบขยะอิเล็กทรอนิกส์มีการปนเปื้อนโลหะหนักทุกชนิด ตะกั่วและโครเมียมที่มีค่าสูงกว่ามาตรฐาน การอาศัยอยู่ของลูกอ๊อดในสภาพแวดล้อมที่มีความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของโลหะหนักและการบริโภคลูกอ๊อดที่มีการปนเปื้อนโลหะหนัก อาจทำให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพของประชาชนโดยรอบได้ โดยการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพจากการบริโภคลูกอ๊อด 3 ชนิด ได้แก่ ลูกอ๊อดอึ่งบ้าน ลูกอ๊อดกบหนอง และลูกอ๊อดกบนาที่ปนเปื้อนโลหะหนัก ได้แก่ สารหนู แคดเมียม โครเมียม ตะกั่ว นิกเกิล ทองแดง และแมงกานีส และเพื่อศึกษาปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนัก ในน้ำ ตะกอนดิน และในลูกอ๊อดบริเวณรอบแหล่งฝั่งกลบมูลฝอยอิเล็กทรอนิกส์ อำเภอมัญจาคีรี จังหวัดกาฬสินธุ์

วัสดุและวิธีการศึกษา

1. พื้นที่ที่ทำการศึกษา

ดำเนินการศึกษาบริเวณรอบพื้นที่ฝั่งกลบขยะอิเล็กทรอนิกส์ ตำบลโคกสะอาด อำเภอมัญจาคีรี จังหวัดกาฬสินธุ์ ระยะห่าง 100 เมตร ที่คาดว่าจะได้รับผลกระทบจากน้ำชะมูลฝอย โดยสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำและตะกอนดิน 10 จุด และลูกอ๊อดชนิดละ 15 ตัวอย่าง ทำการศึกษาในระหว่างเดือนเมษายน-สิงหาคม 2563

2. การเตรียมและการวิเคราะห์ตัวอย่าง

2.1 วิธีการเตรียมตัวอย่างน้ำ

ตัวอย่างน้ำปริมาตร 25 Milliliter (ml) เติมกรดไนตริก (HNO_3) เข้มข้น 1.25 ml นำไปย่อยบน water bath ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที กรองสารละลายผ่านกระดาษกรอง ปรับปริมาตร

50 ml⁽¹²⁾

2.2 วิธีการเตรียมตัวอย่างตะกอนดิน

ตัวอย่างตะกอนดินตากในที่ร่มจนแห้ง และนำมาบดให้ละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5 mm ซึ่งตะกอนดินละเอียด 1 g เติมไฮโดรเจนคลอไรด์ (HCl) 15 ml กรดไนตริก (HNO₃) เข้มข้น 5 ml และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H₂O₂) 10 ml นำไปย่อยด้วยเครื่องย่อยดินที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง กรองผ่านกระดาษกรอง ปรับปริมาตร 50 ml⁽¹²⁾

2.3 วิธีการเตรียมตัวอย่างลูกอ๊อด

นำตัวอย่างเนื้อลูกอ๊อดไปบดละเอียด ซึ่งตัวอย่างเนื้อลูกอ๊อด เติมกรดไนตริก (HNO₃) เข้มข้น 7 ml และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H₂O₂) 1 ml นำไปย่อยบน water bath ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง กรองผ่านกระดาษกรอง ปรับปริมาตร 25 ml⁽¹²⁾

2.4 การตรวจวัดปริมาณโลหะหนัก

ตรวจวัดปริมาณโลหะหนักในสารละลาย ตัวอย่างน้ำและตะกอนดินและปริมาณโลหะหนักที่สะสมในลูกอ๊อด โดยการเตรียมตัวอย่างด้วยวิธี American Public Health Association (APHA)⁽¹²⁾ และวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่อง inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES)⁽¹³⁾ ณ ห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อมภาค 10 จังหวัดขอนแก่น

2.5 การควบคุมคุณภาพ (Quality Control)

ทำการวิเคราะห์ซ้ำ (Duplicate) ในตัวอย่างเดียวกัน ทำทุกๆ 10 ตัวอย่าง เพื่อเป็นการควบคุมคุณภาพ

3. การประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพจากการบริโภคลูกอ๊อดที่มีการปนเปื้อนโลหะหนัก

3.1 การประเมินการรับสัมผัสสาร (Exposure assessment)

การประเมินความเสี่ยงจากการบริโภค

ลูกอ๊อด กรณีการได้รับโลหะหนักในปริมาณที่มีการปนเปื้อนอยู่ในเกณฑ์ที่มีความเสี่ยงต่อสุขภาพของผู้บริโภค หากได้รับสารนั้นเข้าสู่ร่างกายอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานาน และเนื่องจากข้อมูลที่น่าเชื่อถือเกี่ยวกับความเสี่ยงเป็นข้อมูลที่เก็บเพียงครั้งเดียว จึงนำค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองเข้ามาคำนวณ ดังสมการที่ 1⁽¹⁴⁾

$$\text{Estimated Daily Intake (EDI)} = (\text{CF} \times \text{IR} \times \text{F} \times \text{ED}) / (\text{BW} \times \text{AT})$$

CF คือ ปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนในลูกอ๊อด หน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (มก./กก.)

IR คือ ปริมาณลูกอ๊อดที่รับประทานในแต่ละมื้อ หน่วยเป็นกิโลกรัมต่อมื้อ (กก./มื้อ) (0.45 กก.)⁽¹⁵⁾

F คือ ความถี่ของการสัมผัส (20 วัน/ปี ข้อมูลจากการสอบถามประชาชนในพื้นที่)

ED คือ ระยะเวลาที่สัมผัส 50 ปี การใช้ค่านี้อนุมานว่าผู้คนจะรับประทานลูกอ๊อดที่จับได้ในท้องถิ่นสำหรับช่วงบนที่ 50 เปอร์เซ็นต์โตของช่วงเวลาที่อาศัยอยู่ 50 ปี เช่น ในช่วงชีวิตผู้ใหญ่ทั้งหมดระหว่าง 20 และ 70 ปี

AT คือ ระยะเวลาที่ใช้ในการเฉลี่ยสำหรับผู้ใหญ่จะมีค่าเท่ากับช่วงชีวิตของแต่ละบุคคลที่จะประเมินระยะเวลาที่ใช้ในการเฉลี่ยของคนไทย 77.34 ปี⁽¹⁶⁾

BW คือ น้ำหนักตัว หน่วยเป็นกิโลกรัม (กก.) (น้ำหนักเฉลี่ยของประชาชนในพื้นที่รอบบริเวณที่ทำการศึกษาคือ 65.5 กก.)

3.2 การอธิบายลักษณะของความเสี่ยง (Risk Characterization)

การอธิบายลักษณะของความเสี่ยงจากการบริโภคลูกอ๊อด โดยพิจารณาจากผลการประเมินกรณีที่น่าเลวร้ายที่สุดที่อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ อธิบายได้จากค่า hazard quotient (HQ) ซึ่งแสดงค่าสัดส่วนของตัวแปร ดังสมการที่ 2⁽¹⁷⁾

$$\text{HQ} = \text{Daily Intake} / \text{RfD}$$

Daily Intake คือ ปริมาณโลหะหนักที่เข้าสู่ร่างกาย หน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน

(มก./กก./วัน)

RfD คือ ความเข้มข้นอ้างอิงของสารหนู (0.0003) โครเมียม (1.5) แคดเมียม (0.001) ตะกั่ว (0.0035) นิกเกิล (0.02) แมงกานีส (1.4) หน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน (มก./กก./วัน)⁽¹⁸⁾

ถ้าค่า HQ น้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 แสดงว่า ปริมาณสารเคมีที่ได้รับไม่มากพอที่จะก่อให้เกิดผล ทางสุขภาพได้หรือไม่มีความเสี่ยงอย่างมีนัยสำคัญ (no significant risk) แต่ถ้าค่า HQ มากกว่า 1 แสดงว่า ปริมาณโลหะหนักที่ได้รับเกินค่ามาตรฐานหรือถือว่าอยู่ในระดับที่ไม่ปลอดภัยต่อสุขภาพ มีความเสี่ยงสุขภาพ จากการสัมผัสสารเคมีทั้ง 4 ประเภทผ่านทางสารกิน

4. มาตรฐานที่ใช้ในการเปรียบเทียบกับผลการศึกษา

1. มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน ตามมาตรา 32 แห่งพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพ สิ่งแวดล้อม พ.ศ 2535⁽¹⁹⁾

2. มาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อ การอยู่อาศัยและเกษตรกรรม⁽²⁰⁾

3. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 414) พ.ศ. 2563 ออกตามความในพระราชบัญญัติอาหาร

ตารางที่ 1 ปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างน้ำ 10 ตัวอย่าง บริเวณรอบพื้นที่ฝั่งกลบขยะอิเล็กทรอนิกส์ ต.โคกสะอาด อ.ฆ้องชัย จ.กาฬสินธุ์

ชนิดโลหะหนัก	ปริมาณโลหะหนัก (มก./ลิตร)		ค่ามาตรฐาน	จำนวน (ร้อยละ) ที่เกินค่ามาตรฐาน
	ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด		
สารหนู	0.07±0.05	0.01-0.14	0.01	8 (80.00)
โครเมียม	0.23±0.04	0.08-0.97	0.05	10 (100.00)
แคดเมียม	0.18±0.12	0.02-0.56	0.005	10 (100.00)
ตะกั่ว	0.31±0.15	0.06-1.06	0.05	10 (100.00)
นิกเกิล	1.38±0.98	0.06-4.67	-	-
แมงกานีส	9.47±1.26	0.46-14.62	1.0	8 (80.00)
ทองแดง	52.43±8.98	4.29-48.41	0.1	10 (100.00)

พ.ศ. 2522 เรื่อง มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน⁽²¹⁾

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

ใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ จำนวน ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุด และค่าสูงสุด

ผลการศึกษา

1. ปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างน้ำ

ผลการศึกษาการปนเปื้อนปริมาณโลหะหนักใน ตัวอย่างน้ำ พบว่าโลหะหนักทุกชนิดมีค่าเกินมาตรฐาน คุณภาพแหล่งน้ำ ยกเว้นนิกเกิลที่ยังไม่ได้กำหนดค่า มาตรฐาน โดยทองแดงมีค่าสูงสุด 52.43±8.98 มิลลิกรัม ต่อลิตร (มก./ลิตร) รองลงมา คือ แมงกานีส 9.47±1.26 มก./ลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 1)

2. ปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างตะกอนดิน

ผลการการศึกษาการปนเปื้อนปริมาณโลหะ หนักในตัวอย่างตะกอนดิน พบว่าสารหนูมีค่าเกิน มาตรฐานคุณภาพดิน ส่วนโลหะหนักชนิดอื่นมีค่าไม่เกิน มาตรฐาน โดยแมงกานีสมีค่าสูงสุด 31.62±3.65 มก./ กก. รองลงมา คือ ทองแดง 27.75±1.69 มก./กก. (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างตะกอนดิน 10 ตัวอย่าง บริเวณรอบพื้นที่ฝังบกลบขยะอิเล็กทรอนิกส์ ต.โคกสะอาด อ.ฆ้องชัย จ.กาฬสินธุ์

ชนิดโลหะหนัก	ปริมาณโลหะหนัก (มก./กก.)		ค่ามาตรฐาน	จำนวน (ร้อยละ) ที่เกินค่ามาตรฐาน
	ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด		
สารหนู	4.69±1.14	1.21-13.85	3.9	8 (80.00)
โครเมียม	15.40±3.34	9.09-21.64	300	0
แคดเมียม	4.04±1.26	0.60-13.60	37	0
ตะกั่ว	17.72±2.69	6.85-20.36	400	0
นิกเกิล	5.50±1.06	1.54-6.15	1600	0
แมงกานีส	31.62±3.65	4.94-42.24	1800	0
ทองแดง	27.75±1.69	13.72-31.53	-	0

3. ปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างลูกอ๊อด ตะกั่ว เกินค่ามาตรฐานอาหารปนเปื้อน ส่วนแคดเมียมมีจากการศึกษาการปนเปื้อนของโลหะหนักในลูกอ๊อด ค่าเกินมาตรฐานในตัวอย่างลูกอ๊อดกบหนอง (ตารางที่ 3) อ๊อดทั้ง 3 ชนิด พบว่า ปริมาณสารหนู โครเมียม และ

ตารางที่ 3 ปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างลูกอ๊อดชนิดละ 15 ตัวอย่าง บริเวณรอบพื้นที่ฝังบกลบขยะอิเล็กทรอนิกส์ ต.โคกสะอาด อ.ฆ้องชัย จ.กาฬสินธุ์

ชนิดโลหะหนัก	ลูกอ๊อดอึ่งบ้าน (N=15)	ลูกอ๊อดกบหนอง (N=15)	ลูกอ๊อดกบนา (N=15)	มาตรฐาน
สารหนู	0.43±0.12	3.27±1.08	0.32±0.14	0.1
โครเมียม	4.69±0.82	24.73±8.33	6.84±2.70	1.0
แคดเมียม	0.12±0.10	1.154±0.56	0.20±0.07	0.5
ตะกั่ว	15.65±5.24	17.76±4.99	8.63±2.23	0.3
นิกเกิล	1.46±0.42	10.63±6.67	10.18±8.09	-
แมงกานีส	118.64±10.32	392.69±95.81	122.24±44.46	-
ทองแดง	63.91±15.38	71.05±15.52	73.58±12.54	-

4. การประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพจากการบริโภค จากการบริโภคลูกอ๊อดที่มีการปนเปื้อนโลหะหนัก พบว่าลูกอ๊อดที่มีการปนเปื้อนโลหะหนัก ตะกั่วมีค่า HQ เกิน 1 ในตัวอย่างลูกอ๊อดทุกชนิด และจากการประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพ สารหนูมีค่า HQ เกิน 1 ในลูกอ๊อดกบหนอง (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 การประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพจากการบริโภคลูกอ๊อดที่มีการปนเปื้อนโลหะหนักบริเวณรอบพื้นที่ฝังบกลบขยะอิเล็กทรอนิกส์ ต.โคกสะอาด อ.ฆ้องชัย จ.กาฬสินธุ์

ชนิดโลหะหนัก	ลูกอ๊อดอึ่งบ้าน		ลูกอ๊อดกบหนอง		ลูกอ๊อดกบนา	
	EDI mg/kg/day	HQ	EDI mg/kg/day	HQ	EDI mg/kg/day	HQ
สารหนู	1.62x10 ⁻⁴	0.542	0.001	4.044	1.75x10 ⁻⁵	0.058
โครเมียม	0.001	0.001	0.009	0.006	0.0018	0.001
แคดเมียม	4.52x10 ⁻⁵	0.045	4.28x10 ⁻⁴	0.428	5.43x10 ⁻⁵	0.054
ตะกั่ว	0.005	1.659	0.006	1.883	0.003	1.021
นิกเกิล	0.005	0.272	0.003	0.197	0.002	0.139
แมงกานีส	0.044	0.031	0.145	0.104	0.033	0.023
ทองแดง	0.023	0.592	0.026	0.659	0.020	0.505

วิจารณ์

จากการศึกษาการปนเปื้อนของโลหะหนักในตัวอย่างน้ำ พบว่า โลหะหนักทุกชนิดที่ทำการศึกษามีปริมาณค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน ยกเว้นนิกเกิลที่ยังไม่ได้กำหนดค่ามาตรฐาน⁽¹⁹⁾ การปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำบริเวณนี้มาจากกระบวนการเผาชิ้นส่วนขยะอิเล็กทรอนิกส์ และเมื่อมีการชะของน้ำฝนทำให้เกิดการกระจายของโลหะหนักออกจากบริเวณฝังกลบขยะอิเล็กทรอนิกส์ จากผลการศึกษาพบว่า ตะกั่วและแคดเมียมซึ่งเป็นโลหะหนักที่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตมีปริมาณการปนเปื้อนสูงกว่าค่ามาตรฐาน 6.2 และ 36 เท่า ตามลำดับ ตะกั่วเป็นสารประกอบหลักในลวดบัดกรี จอมอนิเตอร์ และแบตเตอรี่ ส่วนแคดเมียมพบในชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ เช่น วัสดุกึ่งตัวนำ (semiconductors) อุปกรณ์ตรวจจับอินฟราเรด (infrared detectors) และจอมอนิเตอร์⁽²²⁾ สอดคล้องกับชนิดและปริมาณของขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่นำเข้ามาในพื้นที่ ได้แก่ จอมอนิเตอร์ คอมพิวเตอร์ และโทรทัศน์ หลังจากมีการคัดแยกหรือถอดแยกโลหะที่มีค่าแล้วประชาชนจะนำซากผลิตภัณฑ์ไปกองรวมกันไว้ก่อนที่จะทำการเผา การปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำจะทำให้เกิดการสะสมโลหะหนักในสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำ มีผลกระทบต่อห่วงโซ่อาหารซึ่งเป็นช่องทางที่สำคัญที่จะแพร่โลหะหนักไปสู่มนุษย์ ส่วนการปนเปื้อนของโลหะหนักในตะกอนดิน พบว่าโลหะหนักทุกชนิดมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม⁽²⁰⁾ เมื่อพิจารณาโลหะหนักแต่ละชนิด พบว่าโลหะหนักที่เป็นพิษ (สารหนู โครเมียม แคดเมียมและตะกั่ว) มีค่าสูงโดยเฉพาะตะกั่วสอดคล้องกับการปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำ การทิ้งเศษซากจอโทรทัศน์ และจอคอมพิวเตอร์ ทำให้สารตะกั่วและแคดเมียมที่อยู่ในจอภาพแพร่กระจายสู่ดินและน้ำ รวมทั้งการเผาของเศษวัสดุ ทำให้สารพิษในเศษวัสดุปนเปื้อนอยู่ในชั้นใต้ที่เหลือน้อยสะสมในดินและแพร่สู่แหล่งน้ำส่งผลให้มีการสะสมของโลหะหนักในดินและน้ำในปริมาณสูง สอดคล้องกับการศึกษาของลำไย

ณิรัตน์พันธ์⁽³⁾ พบว่า ตะกั่วในดินบริเวณฝังกลบมูลฝอยอิเล็กทรอนิกส์มีปริมาณสูง (577.68 ± 1.60 มก/กก) และพริกไท ธนอมสงัด⁽¹¹⁾ พบตะกั่วในดินอยู่ในช่วง 3.21–7719.16 มก/กก. ส่วนการปนเปื้อนของโลหะหนักในตัวอย่างลูกอ๊อดทั้ง 3 ชนิด พบว่าปริมาณสารหนู โครเมียม และตะกั่ว เกินค่ามาตรฐานอาหารปนเปื้อน⁽²¹⁾ ส่วนแคดเมียมมีค่าเกินมาตรฐานในตัวอย่างลูกอ๊อด กบหนอง เมื่อพิจารณาลักษณะที่อยู่อาศัยจะพบว่าลูกอ๊อดจะสัมผัสน้ำที่มีการปนเปื้อนโลหะหนักตั้งแต่ระยะที่ตัวเต็มวัยวางไข่ และเมื่อฟักออกมาเป็นตัวก็ยังคงอาศัยอยู่ในน้ำ และตะกอนดินที่มีการปนเปื้อนโลหะหนักต่อไปจนกว่าจะโตเป็นลูกกบ ส่วนลักษณะการกินอาหาร ลูกอ๊อดจะกินตะไคร่น้ำ พืชน้ำ แพลงก์ตอน สาหร่าย อินทรีย์สาร ตะกอนดิน รวมทั้งซากอินทรีย์ที่เน่าเปื่อย ทำให้ลูกอ๊อดได้รับโลหะหนักทั้งจากน้ำ ตะกอนดิน และอาหาร การได้รับโลหะหนักในปริมาณที่ไม่มากและมีการกำจัดออกจากร่างกาย ทำให้ลูกอ๊อดยังสามารถมีชีวิตอยู่ได้ในสภาวะสิ่งแวดล้อมที่เป็นพิษ⁽²³⁾

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของผลกระทบต่อสุขภาพของประชากรที่สัมผัสโลหะหนักบริเวณรอบแหล่งฝังกลบมูลฝอยอิเล็กทรอนิกส์พบว่า ตะกั่วมีค่า HQ เกิน 1 ในตัวอย่างลูกอ๊อดทุกชนิด และสารหนูมีค่า HQ เกิน 1 ในลูกอ๊อดกบหนอง ผลการศึกษานี้แสดงว่า การบริโภคลูกอ๊อดรอบบริเวณที่ฝังกลบมูลฝอยอิเล็กทรอนิกส์อาจมีความเสี่ยงต่อสุขภาพ เมื่อพิจารณาตามชนิดของโลหะหนักจะพบว่าตะกั่วมีความเสี่ยงต่อสุขภาพในระดับสูง สอดคล้องกับปริมาณตะกั่วที่สะสมในลูกอ๊อด สารตะกั่วมีความเป็นพิษสูงต่อคนและสัตว์ การได้รับพิษตะกั่วสะสมเรื้อรังจะส่งผลต่อระบบประสาทส่วนกลางและสมอง นอกจากนี้ยังส่งผลต่อระบบประสาทส่วนปลายและกล้ามเนื้อ ระบบทางเดินอาหาร ระบบโลหิต ระบบทางเดินปัสสาวะ ระบบโครงสร้าง โดยตะกั่วจะไปสะสมที่กระดูก ระบบสืบพันธุ์⁽²⁴⁾ นอกจากนี้แล้วสารตะกั่วถูกจัดว่าเป็นสารที่อาจก่อให้เกิดมะเร็งกลุ่ม 2A⁽²⁵⁾ สารหนูเป็นโลหะอีกชนิดหนึ่งที่พบค่า HQ มากกว่า 1 ในลูกอ๊อดกบหนอง

การได้รับสารหนูเข้าไปในร่างกายในปริมาณมาก อาจทำให้เกิดอาการเฉียบพลันหลายระบบ ทั้งระบบทางเดินอาหาร ได้แก่ อาการปวดท้องอย่างรุนแรง คลื่นไส้ อาเจียน ถ่ายเป็นน้ำ อาการทางระบบประสาทส่วนกลาง ได้แก่ ปวดศีรษะ เวียนศีรษะ ชัก และหมดสติ ระบบทางเดินปัสสาวะ ได้แก่ ปัสสาวะออกน้อย มีไข้ขาว ในปัสสาวะ ระบบโลหิตพบภาวะโลหิตจาง ส่วนอาการแบบเรื้อรัง จะทำให้ผิวหนังหนา ผิวหนังเปลี่ยนสี มีสีเข้มขึ้นและอ่อนลงเป็นจุดทั่วร่างกาย มีลักษณะเหมือนจุดจากฝนตก ระบบโลหิต อาจพบภาวะเลือดจาง ความดันโลหิตสูง ระบบประสาท มีอาการปวดศีรษะ เวียนศีรษะ ชาตามปลายมือปลายเท้า ความผิดปกติที่ผิวหนัง สารหนูเป็นสารก่อทำให้เกิดมะเร็งผิวหนัง มะเร็งปอด มะเร็งที่ไต⁽²⁶⁾ นอกจากนี้ความเสี่ยงจากการบริโภคลูกอ๊อดแล้วประชาชนที่อาศัยอยู่รอบบริเวณนี้ ยังมีความเสี่ยงต่อการบริโภคข้าวที่ปลูกรอบพื้นที่ฝังกลบขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่มีการปนเปื้อนโลหะหนักด้วยเช่นกัน จากการศึกษาของลำไย นิรัตน์พันธ์⁽³⁾ พบว่า ตะกั่วและแมงกานีสที่ปนเปื้อนในข้าวมีค่า HQ 1.50 และ 2.60 ข้อมูลนี้แสดงให้เห็นว่าประชาชนที่อาศัยอยู่รอบบริเวณนี้ มีความเสี่ยงต่อการได้รับโลหะหนักทั้งจากสิ่งแวดล้อมและอาหารที่ได้จากบริเวณโดยรอบเป็นการเพิ่มความเสี่ยงต่อสุขภาพทั้งในระยะสั้นและระยะยาวได้

ข้อเสนอแนะ

ภาครัฐควรสร้างระบบการจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่เป็นรูปธรรม โดยการหามาตรการที่สามารถปรับเปลี่ยนเส้นทางการขนส่งของขยะอิเล็กทรอนิกส์จากกลุ่มค้าของเก่าไปยังโรงงานรีไซเคิล โดยการออกกฎหมายเพื่อควบคุมดูแลขยะอิเล็กทรอนิกส์เป็นการเฉพาะ นอกจากนี้ควรมีการประชาสัมพันธ์ให้ความรู้แก่ประชาชนเกี่ยวกับความจำเป็นในการแยกทิ้งขยะอิเล็กทรอนิกส์ออกจากขยะทั่วไป รวมทั้งภัยที่เกิดจากขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่มีต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของประชาชน โดยการณรงค์ผ่านสื่อต่างๆ อย่างต่อเนื่อง และการเพิ่มเนื้อหาในหลักสูตรการเรียนการสอนทุกระดับ เพื่อสร้างความรู้ความเข้าใจแก่เด็ก

เยาวชน และประชาชนทั่วไปให้รู้เท่าทันภัยอันตรายจากสารพิษในขยะอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งเป็นของเสียอันตรายชนิดหนึ่ง ทั้งยังนำไปสู่การมีส่วนร่วมของประชาชนทุกภาคส่วนในการสร้างสุขภาวะและป้องกันปัญหามลพิษต่างๆ ที่จะเกิดขึ้น

สรุป

การศึกษานี้แสดงให้เห็นผลกระทบของพื้นที่ฝังกลบขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่มีการจัดการอย่างไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ ก่อให้เกิดการรั่วไหลของโลหะหนักสู่สิ่งแวดล้อม ส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในบริเวณโดยรอบและส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ที่บริโภคอาหารที่ปนเปื้อนสารโลหะหนักและสารเคมีชนิดอื่น การจัดการมูลฝอยอิเล็กทรอนิกส์ที่ถูกต้องเป็นสิ่งที่ต้องดำเนินการอย่างเร่งด่วนเพื่อลดการปนเปื้อนของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมและสิ่งมีชีวิต รวมทั้งลดความเสี่ยงด้านสุขภาพแก่ประชาชนที่อาศัยอยู่รอบบริเวณนั้น

เอกสารอ้างอิง

1. Ministry of Natural Resources and Environment (TH), Pollution Control Department. Thailand state of pollution report 2019. Bangkok: Pollution Control Department; 2020. (in Thai)
2. Phuphisut O, Sangrajang S. Electronic waste and hazardous substances. Thai Journal of Toxicology. 2010;25(1):67–76. (in Thai)
3. Neeratanaphan L, Khamma S, Benchawattananon R, Ruchuwarak P, Appamaraka S, Intamat S. Heavy metal accumulation in rice (*Oryza sativa*) near electronic waste dumps and related human health risk assessment. Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal. 2017;23(5):1086–98.
4. Phoonaploy U, Tengjaroenkul B, Neeratanaphan L. Effects of electronic waste on cytogenetic and

- physiological changes in snakehead fish (*Channa striata*). *Environmental Monitoring and Assessment* 2019;191(6):363.
5. Duruibe JO, Ogwuegbu MOC, Egwurugwu JN. Heavy metal pollution and human biotoxic effects. *Journal of Physical Science*. 2007;2(5): 112-8.
6. Nordberg GF. Biomarkers of exposure, effects and susceptibility in humans and their application in studies of interactions among metals in China. *Toxicology Letters*. 2010;192(1):45-9.
7. Jarup L. Hazards of heavy metal contamination. *British Medical Bulletin* 2003;68:167-82.
8. Wei L, Ding G, Guo S, Tong M, Chen W, Flanders J, et al. Toxic effects of three heavy metallic ions on *Rana zhenhaiensis* tadpoles. *Asian Herpetological Research*. 2015;6(2):132-42.
9. Sign P, Dey M, Ramanujam SN. Bioaccumulation of heavy metals in anuran tadpoles: A study in Barak Valley, Assam. *International Journal of Aquatic Biology*. 2016;4(3):171-8.
10. Srivastav AK, Srivastav S, Suzuki N. Acute toxicity of a heavy metal cadmium to an Anuran, the Indian skipper frog *Rana cyanophlyctis*. *International Journal of Toxicology* 2016;10(5):39-43.
11. Thanomsangad P, Junsong R, Neeratanaphan L, Appamaraka S, Tengjaroenkul B. Cytotoxic evaluation of heavy metal in frog (*Hoplobatrachus rugulosa*) around electronic waste landfill area. *Thai Journal of Science and Technology*. 2018;26 (1):172-84.
12. American Public Health Association (APHA). Standard methods for the examination of water and wastewater. 21st ed. Washington, DC: American Public Health Association; 2005.
13. Chand V, Prasad S. ICP-OES assessment of heavy metal contamination in tropical marine sediments: A comparative study of two digestion techniques. *Microchemical Journal*. 2013;111: 53-61.
14. Fu J, Zhou Q, Liu J, Lui W, Wang T, Zhang Q, et al. High levels of heavy metals in rice (*Oryza sativa* L.) from a typical open dumping of e-waste area in southeast China and its potential risk to human health. *Chemosphere*. 2008;71: 1269-75.
15. National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards (TH). Food consumption data of Thailand. Bangkok: National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards; 2016. (in Thai)
16. Knoema. World and regional statistics: Thailand-life expectancy at birth [Internet]. New York: Knoema; 2020 [cited 2021 July 14]. Available from: <https://knoema.com/atlas/Thailand/topics/Demographics/Age/Life-expectancy-at-birth>
17. US Environmental Protection Agency. Risk based concentration table. Washington, DC: US Environmental Protection Agency; 2000.
18. US Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, National Center for Environmental Assessment. Exposure factors handbook volume 1-general factors (EPA/600/P-95/002Fa). Washington, DC: US Environmental Protection Agency; 1997.
19. Pollution Control Department (TH). Surface water quality standards. notification of the National Environmental Board no. 20. Bangkok: Pollution Control Department; 2000. (in Thai)

20. Pollution Control Department (TH). Soil quality standards for habitat and agriculture. Notification of the National Environmental Board, No. 25. Bangkok: Pollution Control Department; 1992. (in Thai)
21. Pollution Control Department (TH). The standard levels of heavy metals in tissues of aquatic animals. Bangkok: Pollution Control Department; 2020. (in Thai)
22. Lee CH, Chang SL, Wang KM, Wen LC. Management of scrap computer recycling in Taiwan. *Journal of Hazardous Materials*. 2000; 73:209–20.
23. Unrine JM, Hopkins WA, Romanek CS, Jackson BP. Bioaccumulation of trace elements in omnivorous amphibian larvae: Implications for amphibian health and contaminant transport. *Environmental Pollution*. 2007;149(2):182–92.
24. Tong S, von Schirnding YE, Prapamontol T. Environmental lead exposure: a public health problem of global dimensions. *Bull World Health Organ*. 2000;78(9):1068–77.
25. IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Human. Inorganic and Organic Lead Compounds. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. 2006;87:1–16.
26. Centeno JA, Mullick FG, Martinez L, Page NP, Gibb H, Longfellow DT, et al. Pathology related to chronic arsenic exposure. *Environmental Health Perspectives*. 2002;110(suppl5):883–6.