



Received: 1 Mar 2026 ; Revised: 15 Mar 2026

Accepted: 31 Mar 2026

การประเมินการปนเปื้อนและศักยภาพการสะสมทางชีวภาพของโลหะหนักในผักบั้งใกล้บริเวณแหล่งฝังกลบมูลฝอยเทศบาล

สมศักดิ์ อินทมาต¹, ดาวประกาย หญางาม¹, วริศรา รักษาภักดี¹,
สุจิตรา พงศ์วงประเสริฐ¹, ลำไย ณีรัตนพันธ์²

บทคัดย่อ

งานวิจัยเชิงสำรวจนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณโลหะหนัก (สารหนู แบเรียม แคดเมียม โครเมียม สังกะสี เหล็ก แมงกานีส นิกเกิล และตะกั่ว) ในตัวอย่างน้ำ ตะกอนดิน และผักบั้งและประเมินศักยภาพการสะสมโลหะหนักทางชีวภาพของผักบั้งใกล้บริเวณแหล่งฝังกลบมูลฝอยเทศบาลร้อยเอ็ด อำเภอเมือง จังหวัดร้อยเอ็ด เก็บตัวอย่างน้ำ ตะกอนดิน และผักบั้งชนิดละ 9 ตัวอย่าง การสุ่มเก็บตัวอย่างตัวอย่างแบบเป็นระบบเก็บตัวอย่างทุกๆ 20 เมตร วิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่อง inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES) ประเมินศักยภาพการสะสมทางชีวภาพของโลหะหนักในผักบั้ง ด้วยค่า translocation factor (TF), bioaccumulation factor (BAF) และ bioconcentration factor (BCF) ผลการศึกษาพบว่า โลหะหนักทุกชนิดในน้ำและตะกอนดินมีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน โดยเหล็กมีค่ามากที่สุด (น้ำ 2.86 ± 0.66 มก./ลิตร, ตะกอนดิน $1,433 \pm 445.61$ มก./กก.) ในผักบั้ง รากสะสม Fe มากที่สุด ส่วนลำต้นสะสม Mn มากที่สุด ก้านสะสม Fe มากที่สุด และใบสะสม Fe มากที่สุด โดยค่า TF ของ Ba, Cr, Fe, Mn และ Zn เกิน 1 ค่า BAF ของ Ba, Cr, Mn และ Zn เกิน 1 และค่า BCF ของโลหะหนักส่วนใหญ่เกิน 1 ยกเว้น Ni และ Zn แสดงว่าผักบั้งมีศักยภาพสะสมโลหะหนักจากสิ่งแวดล้อมได้ในระดับสูง

คำสำคัญ: การสะสมทางชีวภาพ โลหะหนัก ผักบั้ง

¹ นักสาธารณสุข โรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชธาตุพนม

² รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น



Evaluation of heavy metals contamination and bioaccumulation in water spinach (*Ipomoea Aquatica*) near municipal landfill

Somsak Intamat ¹, Daoprakai Yangam ¹, Warisara Raksaphakdee ¹,
Sujittra Pongwongprasert ¹, Lamyai Neeratanaphan ²

Abstract

This survey research was conducted to assess heavy metals (arsenic, barium, cadmium, chromium, zinc, iron, manganese and lead) in water, sediment and water spinach samples near Roi-et municipal landfill in Maung district, Roi-et province. 9 samples of water, sediment and water spinach samples were collected. The systematic sampling which collected every 20 meters was conducted. The samples were analyzed for heavy metals using inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES). Bioaccumulation of heavy metals in water spinach was assessed through the translocation factor (TF), bioaccumulation factor (BAF) and bioconcentration factor (BCF). The study found that all heavy metals in water and sediment were below the standard limits, with iron having the highest concentration (water: 2.86 ± 0.66 mg/L, sediment: $1,433 \pm 445.61$ mg/kg). In water spinach, the roots accumulated the highest amount of Fe, the stems accumulated the highest amount of Mn, the petioles accumulated the highest amount of Fe, and the leaves accumulated the highest amount of Fe. The translocation factor (TF) values for Ba, Cr, Fe, Mn, and Zn exceeded 1. The bioaccumulation factor (BAF) values for Ba, Cr, Mn, and Zn also exceeded 1. Furthermore, the bioconcentration factor (BCF) values of most heavy metals were above 1, except for Ni and Zn. These results indicate that water spinach has a high potential to accumulate heavy metals from the environment.

Keywords: bioaccumulation, Heavy metals, water spinach (*Ipomoea Aquatica*)

¹ Public health officer, Somdej Phra Yuparat That Phanom Hospital

² Associate Professor, Department of Environmental Science, Faculty of Science, Khon Kaen University

บทนำ

การขยายตัวด้านอุตสาหกรรมและการบริการทั้งในด้านการพัฒนาสินค้าและบรรจภัณฑ์ให้มีความหลากหลาย สะดวกและรองรับความต้องการใช้งานด้วยเหตุปัจจัยต่างๆ ส่งผลให้ปริมาณขยะที่เกิดขึ้นจากการอุปโภค บริโภคเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะขยะพลาสติก นอกจากนี้ปัญหาขยะมูลฝอยเกิดจากจำนวนนักท่องเที่ยวทั้งชาวไทยและชาวต่างประเทศที่มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นหลังจากสถานการณ์ การแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 คลี่คลาย ปี พ.ศ. 2567 มีขยะมูลฝอยชุมชนเกิดขึ้น ประมาณ 27.20 ล้านตัน หรือประมาณ 74,529 ตัน/วัน เพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2566 ประมาณร้อยละ 0.9 โดยปี 2566 มีขยะมูลฝอยเกิดขึ้น 26.95 ล้านตัน) โดยขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้น จะถูกจัดการขั้นต้นในครัวเรือน 1.54 ล้านตัน (ร้อยละ6) และถูกคัดแยกเพื่อนำกลับไปใช้ประโยชน์จากบ้านเรือนและแหล่งกำเนิดต่าง ๆ 6.02 ล้านตัน (ร้อยละ 22) ส่วนที่เหลือถูกเก็บรวบรวมโดยองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ประมาณ 19.64 ล้านตัน (ร้อยละ 72) เพื่อนำไปกำจัด ณ สถานที่กำจัดขยะมูลฝอยซึ่งขยะมูลฝอยบางส่วนจะถูกคัดแยกเพื่อนำกลับไปใช้ประโยชน์ ประมาณ 4.49 ล้านตัน (ร้อยละ 17) คงเหลือขยะมูลฝอยจำนวน 15.15 ล้านตัน (ร้อยละ55) ที่จะถูกนำไปกำจัด โดยได้รับการกำจัดอย่างถูกต้อง 10.42 ล้านตัน (ร้อยละ38) และกำจัดอย่างไม่ถูกต้อง 4.73 ล้านตัน (ร้อยละ17) (กรมควบคุมมลพิษ, 2567) ปัญหาการกำจัดขยะมูลฝอยอย่างไม่ถูกต้องเป็นหนึ่งในปัญหาสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม สุขภาพของประชาชน และเศรษฐกิจในหลายประเทศ รวมถึงประเทศไทย ปัญหานี้เกิดขึ้นจากหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ตั้งแต่พฤติกรรมของประชาชน ระบบจัดการขยะที่ไม่เพียงพอ ไปจนถึงนโยบายและการบังคับใช้กฎหมายที่ยังไม่มีประสิทธิภาพ

จังหวัดร้อยเอ็ด มีขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้น ในปี 2567 จำนวน 985 ตันต่อวัน ขยะมูลฝอยที่นำกลับมาใช้ประโยชน์จำนวน 541 ตันต่อวัน มูลฝอยที่กำจัดถูกต้อง 103 ตันต่อวัน มูลฝอยที่กำจัดไม่ถูกต้องจำนวน 221 ตันต่อวัน (กรมควบคุมมลพิษ) โดยสถานที่กำจัดขยะของเทศบาลเมืองร้อยเอ็ด ตั้งอยู่ที่ บ้านหนองนาสร้าง หมู่ที่ 10 ริมถนนร้อยเอ็ด-กาฬสินธุ์ ตำบลเหนือเมือง อำเภอเมือง จังหวัดร้อยเอ็ด ขนาดพื้นที่ 20 ไร่ 3 งาน โดยใช้ฝังกลบมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2520 ปัจจุบันมีมูลฝอยตกค้างสะสมอยู่ในสถานที่กำจัดเต็มพื้นที่ (สำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจังหวัดร้อยเอ็ด, 2564) สถานที่ฝังกลบมูลฝอยแห่งนี้ไม่มีระบบบำบัดน้ำชะมูลฝอย ทำให้น้ำชะมูลฝอยกระสู่สิ่งแวดล้อมรอบบริเวณฝังกลบมูลฝอย น้ำชะมูลฝอย คือของเหลวที่ไหลซึมออกมาจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยที่เกิดจากความชื้นของมูลฝอยหรือน้ำฝนที่สัมผัสกับมูลฝอยแล้วเกิดการไหลชะล้างและซึมออกมาตามแรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งอาจมีตะกอนละเอียดปะปนมาด้วย น้ำชะมูลฝอยมักมีความสกปรกสูง บางครั้งอาจปนเปื้อนโลหะหนักและสารที่เป็นพิษที่มีอยู่ในมูลฝอยทั่วไป (สมคิด ตันเก็ง และ ศิริภัสสร พันธะสา, 2567) หากมีการระบายออกโดยไม่ได้รับการบำบัดให้เป็นไปตามมาตรฐานน้ำทิ้งที่กำหนดไว้ อาจก่อให้เกิดการปนเปื้อนต่อดิน น้ำผิวดิน และน้ำใต้ดิน ซึ่งพืชและสัตว์อาจเกิดการสะสมสารพิษเหล่านี้หากมีการบริโภคเข้าไป



ผักบุ้ง (*Ipomoea aquatica*) เป็นพืชผักน้ำชนิดเด่นที่มีความสามารถในการเจริญเติบโตเร็วและออกดอก-แตกกอได้ดีในบริเวณแหล่งน้ำและพื้นที่ชุ่มชื้น ทำให้มักพบขึ้นหนาแน่นรอบบริเวณแหล่งฝังกลบมูลฝอย ตลิ่งคลองที่รับน้ำทิ้ง และพื้นที่รอบโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งในหลายชุมชนผักบุ้งยังถูกเก็บมาเป็นอาหารประจำบ้าน ผักบุ้งที่เจริญเติบโตใกล้กับพื้นที่ทิ้งขยะจึงเพิ่มความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของโลหะหนักหลายชนิด เช่น สารหนู (As) แคดเมียม (Cd) ตะกั่ว (Pb) โครเมียม (Cr) แบเรียม (Ba) นิกเกิล (Ni) สังกะสี (Zn) เหล็ก (Fe) สาเหตุของการปนเปื้อนมีทั้งจากการรั่วไหลของน้ำซึมจากหลุมฝังกลบที่เมืองค์ประกอบโลหะหนักจากขยะอิเล็กทรอนิกส์ แบตเตอรี่ สี และวัสดุก่อสร้าง การใช้ปุ๋ยหรือดินถมที่มีโลหะปนเปื้อน การใช้น้ำชลประทานหรือน้ำล้างจากแหล่งที่มีมลพิษ (Adesokan et al., 2016) เมื่อโลหะหนักเข้าสู่ดินและน้ำ จะมีปัจจัยทางเคมี-กายภาพที่กำหนดความสามารถในการละลายน้ำและความพร้อมให้ดูดซึมโดยรากพืช ผักบุ้งมีแนวโน้มที่จะดูดซึมโลหะผ่านระบบรากแล้วสะสมในเนื้อเยื่อใบและลำต้น ซึ่งเป็นส่วนที่บริโภค ทำให้เกิดการสะสมในห่วงโซ่อาหารและความเสี่ยงต่อการได้รับสารเป็นประจำ แม้ปริมาณต่อมื้ออาจต่ำ แต่การรับประทานซ้ำ ๆ ในระยะยาวนำไปสู่ผลกระทบที่สำคัญต่อสุขภาพ โลหะหนักบางชนิดก่อให้เกิดพิษเฉียบพลัน (เช่น คลื่นไส้ ปวดท้อง ท้องเสีย เมื่อได้รับในปริมาณสูง) ขณะที่การได้รับในระดับต่ำต่อเนื่องกลับก่อผลเรื้อรัง เช่น ตะกั่วทำลายระบบประสาทและส่งผลกระทบต่อพัฒนาการสมองในเด็ก แคดเมียมทำลายไตและกระดูก สารหนูมีความสัมพันธ์กับมะเร็งผิวหนังและมะเร็งระบบทางเดินอาหาร ปรอทเป็นพิษต่อระบบประสาทและการพัฒนาทางสมองในทารกในครรภ์ (Schneider, 2023; Rachel et al., 2023; Bai et al., 2020) นอกจากนี้ผลกระทบยังขยายออกไปในระดับสังคมและเศรษฐกิจ เช่น การสูญเสียความเชื่อมั่นในความปลอดภัยของอาหาร เพิ่มภาระค่ารักษาพยาบาล ลดรายได้เกษตรกรจากผักที่ขายไม่ได้ และผลกระทบต่อความมั่นคงทางอาหารของชุมชน กลุ่มเปราะบางอย่างเด็ก สตรีมีครรภ์ ผู้สูงอายุ และผู้ป่วยเรื้อรังมีความเสี่ยงสูงต่อการได้รับผลกระทบจากโลหะหนัก การวิเคราะห์เหตุและผลจึงชี้ให้เห็นความเชื่อมโยงชัดเจนระหว่างการจัดการมูลฝอยและของเสียที่ไม่เพียงพอกับความเสี่ยงด้านสุขภาพสาธารณะ โดยการป้องกันต้องเน้นการควบคุมจุดกำเนิดของมลพิษ การบำบัดน้ำทิ้งและแหล่งน้ำให้ได้มาตรฐาน การปิดกั้นการแพร่กระจายของน้ำชะขยะ การตรวจสอบระดับโลหะหนักในผักและดินอย่างสม่ำเสมอ รวมทั้งให้ความรู้แก่ชุมชนในการหลีกเลี่ยงการเก็บผักจากบริเวณที่เสี่ยง เพื่อป้องกันการรับสารพิษเรื้อรังที่ซ่อนเร้นแต่มีผลร้ายแรงต่อสุขภาพประชาชนในระยะยาว การศึกษาการปนเปื้อนของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมรอบบริเวณแหล่งฝังกลบมูลฝอยจะเป็นประโยชน์ต่อหน่วยงานของรับที่จะนำผลการศึกษามาใช้ในการวางแผนป้องกันและแก้ไขการกระจายของโลหะหนักสู่สิ่งแวดล้อมและมนุษย์ในอนาคต

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างน้ำ ตะกอนดิน และผักบุ้งใกล้บริเวณแหล่งฝังกลบมูลฝอยเทศบาล

2. เพื่อประเมินศักยภาพการสะสมโลหะหนักทางชีวภาพของผักบุ้ง

อุปกรณ์และวิธีการ

1. พื้นที่ทำการศึกษา

ดำเนินการศึกษาในบริเวณรอบพื้นที่ฝังกลบขยะเทศบาล อำเภอเมือง จังหวัดร้อยเอ็ด ระยะห่าง 100 เมตร ที่คาดว่าจะได้รับผลกระทบจากน้ำชะมูลฝอย โดยสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำและดิน 9 จุด 9 ตัวอย่าง และตัวอย่างผักบุ้ง จำนวน 9 ตัวอย่าง

2. การเตรียมและการวิเคราะห์ตัวอย่าง

2.1 วิธีการเตรียมตัวอย่างน้ำ

ตัวอย่างน้ำปริมาตร 25 ml เติมกรดไนตริก (HNO_3) เข้มข้น 1.25 ml นำไปย่อยบน water bath ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที กรองสารละลายผ่านกระดาษกรอง ปรับปริมาตร 50 ml

2.2 วิธีการเตรียมตัวอย่างดิน

ตัวอย่างดินตากในที่ร่มจนแห้ง และนำมาบดให้ละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5 mm ชั่งตะกอนดินละเอียด 1 g เติมไฮโดรเจนคลอไรด์ (HCl) 15 ml กรดไนตริก (HNO_3) เข้มข้น 5 ml และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) 10 ml นำไปย่อยด้วยเครื่องย่อยดินที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง กรองผ่านกระดาษกรอง ปรับปริมาตร 50 ml

2.3 การเตรียมตัวอย่างผักบุ้ง

นำตัวอย่างผักบุ้งมาตัดแบ่งตามส่วนต่างๆ จากนั้นนำไปตากแห้ง นำผักบุ้งที่แห้งไปบดละเอียด ชั่งตัวอย่าง เติมกรดไนตริก (HNO_3) เข้มข้น 7 ml และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) 1 ml นำไปย่อยบน water bath ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง กรองผ่านกระดาษกรอง ปรับปริมาตร 25 ml

2.4 การตรวจวัดปริมาณโลหะหนัก

ตรวจวัดปริมาณโลหะหนักในสารละลายตัวอย่างน้ำและตะกอนดินและปริมาณโลหะหนักที่สะสมใน ราก ลำต้น ก้าน และใบผักบุ้ง โดยการเตรียมตัวอย่างด้วยวิธี APHA และวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่อง Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES)

3. การประเมินศักยภาพการสะสมโลหะหนักทางชีวภาพของผักบุ้ง

นำปริมาณโลหะหนักที่ตรวจวัดได้จากตัวอย่างพืชทั้งส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดิน รวมถึงปริมาณโลหะหนักในดิน มาคำนวณค่า translocation factor (TF) ค่า bioaccumulation factor (BAF) และค่า bioconcentration factor (BCF) จากสูตร

$$TF = C_{\text{shoot}}/C_{\text{root}}$$



$$BAF = C_{shoot}/C_{soil}$$

$$BCF = C_{root}/C_{soil}$$

เมื่อ C_{shoot} คือ ปริมาณโลหะหนักจากส่วนเหนือดินของพืช (mg/kg DW) C_{root} คือ ปริมาณโลหะหนักจากส่วนใต้ดินของพืช (mg/kg DW), C_{soil} คือ ปริมาณโลหะหนักในดิน (mg/kg DW)

ผลการศึกษา

1. ปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างน้ำ

จากข้อมูลการตรวจวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในน้ำ พบว่าโลหะหนักส่วนใหญ่มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนด โดยมีเพียงสารหนู (As) ที่พบตัวอย่างเกินค่ามาตรฐาน 0.01 มก./ลิตร จำนวน 1 ตัวอย่าง ส่วนโลหะอื่นๆ เช่น แคดเมียม (Cd) โครเมียม (Cr) ทองแดง (Cu) แมงกานีส (Mn) และตะกั่ว (Pb) แม้จะพบในน้ำ แต่ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัยตามมาตรฐาน(ตารางที่ 1)

2. ปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างตะกอนดิน

จากข้อมูลพบว่าปริมาณโลหะหนักทุกชนิด (As, Ba, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn) อยู่ต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด แสดงว่าทุกตัวอย่างมีค่าความเข้มข้นอยู่ในเกณฑ์ปลอดภัย โดยโลหะที่พบในปริมาณสูงสุดคือ เหล็ก (Fe) เฉลี่ย 1,433 มก./กก. และแมงกานีส (Mn) เฉลี่ย 24.36 มก./กก. ส่วนโลหะหนักที่พบในปริมาณต่ำสุดคือแคดเมียม (Cd) เฉลี่ย 0.16 มก./กก. การกระจายค่าของแต่ละธาตุอยู่ในช่วงที่แคบถึงกว้างขึ้นอยู่กับชนิดโลหะ ซึ่งบ่งชี้ถึงความหลากหลายของแหล่งหรือสภาพแวดล้อม แต่โดยรวมไม่มีความเสี่ยงจากการปนเปื้อนเกินมาตรฐานในตัวอย่างนี้

ตารางที่ 1 ปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างน้ำ (n=9)

ชนิดโลหะหนัก	ปริมาณโลหะหนัก (มก./ลิตร)		มาตรฐาน	จำนวนตัวอย่าง ที่เกินค่ามาตรฐาน
	ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด		
As	0.004±0.004	ND-0.011	0.01	1
Ba	0.06±0.03	0.03-0.11	-	-
Cd	0.0003±0.0005	ND-0.001	0.005	0
Cr	0.02±0.01	0.001-0.04	0.05	0
Cu	0.03±0.01	0.01-0.06	0.1	0

ชนิดโลหะหนัก	ปริมาณโลหะหนัก (มก./ลิตร)		มาตรฐาน	จำนวนตัวอย่าง ที่เกินค่ามาตรฐาน
	ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด		
Fe	2.86±0.66	1.57-3.74	-	-
Mn	0.60±0.12	0.27-0.71	1.0	0
Ni	0.02±0.01	0.001-0.04	-	-
Pb	0.008±0.006	0.004-0.02	0.05	0
Zn	0.12±0.09	0.002-0.01	-	-

ตารางที่ 2 ปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างตะกอนดิน (n=9)

ชนิดโลหะหนัก	ปริมาณโลหะหนัก (มก./กก.)		มาตรฐาน (มก./กก.)	จำนวน ที่เกินค่ามาตรฐาน
	ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด		
As	0.42±0.12	0.28-0.70	25	0
Ba	6.40±2.41	3.39-11.92	-	-
Cd	0.16±0.05	0.05-0.25	762	0
Cr	3.74±0.87	2.81-5.35	212	0
Cu	6.68±3.83	2.14-15.87	2,920	0
Fe	1,433±445.61	903.07-2,231.35	-	-
Mn	24.36±14.03	4.15-53.42	19,640	0
Ni	5.34±1.50	3.88-8.69	5205	0
Pb	2.34±0.96	0.92-3.84	800	0
Zn	19.38±5.67	12.78-33.25	-	-

3. ปริมาณโลหะหนักในส่วนต่างๆ ของผักบุ้ง

ปริมาณโลหะหนักในส่วนต่างๆ ของผักบุ้ง พบว่า

รากมีการสะสมของโลหะหนักเรียงลำดับดังนี้ Fe>Mn> Ba>Zn>Cu>Cr>Pb>Ni>As>Cd

ลำต้นมีการสะสมของโลหะหนักเรียงลำดับดังนี้ Mn>Fe>Ba>Zn>Cr>Cu>Pb>Ni>As>Cd



ก้านมีการสะสมของโลหะหนักเรียงลำดับดังนี้ $Fe > Mn > Ba > Zn > Cr > Cu > Ni > Pb > As > Cd$

ใบมีการสะสมของโลหะหนักเรียงลำดับดังนี้ $Fe > Mn > Zn > Ba > Cu > Cr > Pb > Ni > As > Cd$ (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ปริมาณโลหะหนักในส่วนต่างๆ ของผักบุ้ง (n=9)

ชนิดโลหะหนัก	ราก	ลำต้น	ก้าน	ใบ	มาตรฐาน
As	1.30±0.52	0.23±0.05	0.23±0.04	0.24±0.004	2
Ba	48.08±1.26	41.07±2.56	27.96±6.41	8.98±1.25	-
Cd	0.26±0.14	0.06±0.01	0.04±0.01	0.04±0.01	0.1
Cr	4.83±0.85	5.17±1.64	4.71±1.29	1.16±0.72	-
Cu	12.08±1.28	2.99±1.34	1.81±0.39	1.48±0.30	-
Fe	1,995±56.20	453.21±21.20	347.17±18.23	330.68±12.05	-
Mn	434.01±24.23	516.97±46.32	304.44±12.24	210.22±11.25	-
Ni	1.43±0.84	0.57±0.21	0.49±0.21	0.28±0.07	-
Pb	2.55±0.81	0.81±0.37	0.40±0.01	0.35±0.21	0.3
Zn	14.76±1.45	20.18±2.27	16.88±2.72	13.05±1.63	-

4. ค่า translocation factor (TF), bioaccumulation factor (BAF) และ bioconcentration factor (BCF) ในผักบุ้ง

ค่า TF พบว่า Ba Cr Fe Mn และ Zn มีค่าเกิน 1 โดย Mn มีค่าสูงสุด มีค่า 14.63 ± 1.23 รองลงมาได้แก่ Ba มีค่า 6.30 ± 1.02 ตามลำดับ ค่า BAF พบว่า Ba Cr Mn และ Zn ค่าเกิน 1 โดย Mn มีค่าสูงสุด มีค่า 34.93 ± 1.53 รองลงมาได้แก่ Ba มีค่า 7.10 ± 2.07 ตามลำดับ ค่า BCF พบว่าโลหะหนักทุกชนิดมีค่าเกิน 1 ยกเว้น Ni และ Zn โดย Mn มีค่าสูงสุด มีค่า 21.73 ± 2.01 รองลงมาได้แก่ Ba มีค่า 7.68 ± 2.56 ตามลำดับ (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 ค่า translocation factor (TF), bioaccumulation factor (BAF) และ bioconcentration factor (BCF) ในผักบุ้ง

ชนิดโลหะหนัก	TF	BAF	BCF
As	0.20±0.09	0.59±0.18	3.37±1.81
Ba	6.30±1.02	7.10±2.07	7.68±2.56
Cd	0.30±0.14	0.41±0.12	1.64±0.74
Cr	2.02±0.08	1.44±0.81	1.41±0.74
Cu	0.56±0.09	0.56±0.31	1.76±1.20
Fe	2.65±0.94	0.33±0.08	1.41±0.35
Mn	14.63±1.23	34.93±1.53	21.73±2.01
Ni	0.51±0.23	0.11±0.02	0.26±0.10
Pb	0.44±0.27	0.41±0.20	1.23±0.91
Zn	2.47 ±1.86	1.09±0.22	0.77±0.49

อภิปรายผล

ผลการศึกษาปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างน้ำพบว่าโลหะหนักทุกชนิดปนเปื้อนในตัวอย่างน้ำแต่ไม่เกินค่ามาตรฐาน แม้ว่าปริมาณโลหะหนักจะไม่เกินค่ามาตรฐาน แต่การปนเปื้อนในแหล่งน้ำแสดงถึงความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นในระยะยาว โดยเฉพาะในกรณีที่บ่อขยะไม่ได้มีการจัดการที่เหมาะสม อาจทำให้โลหะหนักสะสมในน้ำหรือในสิ่งแวดล้อมโดยรอบได้ การตรวจพบโลหะหนักในน้ำอาจสะท้อนถึงกระบวนการรั่วไหลจากบ่อขยะ เช่น น้ำชะขยะ (leachate) ที่ไม่ได้รับการบำบัดอย่างเพียงพอ หากไม่มีการควบคุมหรือปรับปรุงการจัดการบ่อขยะ ระดับโลหะหนักอาจเพิ่มสูงขึ้นจนเกินค่ามาตรฐาน ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชากรในพื้นที่และระบบนิเวศโดยรวม โลหะหนักบางชนิด เช่น ตะกั่ว หรือปรอท มีคุณสมบัติสะสมในสิ่งมีชีวิต อาจส่งผลกระทบต่อห่วงโซ่อาหารในระยะยาว (ธีรนาถ สุวรรณเรือง, 2563) อย่างไรก็ตามสารหนูในน้ำมีค่าเกินมาตรฐานจำนวน 1 ตัวอย่าง การพบสารหนูในน้ำเกินมาตรฐานแม้เพียงตัวอย่างเดียวสามารถสะท้อนถึงความเสี่ยงต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม ดังนั้นความเสี่ยงต่อสุขภาพ สารหนูเป็นสารพิษที่มีผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ ทั้งในระยะสั้นและระยะยาว โดยความเสี่ยงระยะสั้นอาจทำให้เกิดอาการคลื่นไส้ อาเจียน ปวดท้อง และท้องเสีย และความเสี่ยงระยะยาว อาจก่อให้เกิดโรคมะเร็งผิวหนัง ปอด กระเพาะอาหาร และไต รวมถึงปัญหาเกี่ยวกับระบบประสาท ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การมีสารหนูในน้ำอาจมีผลกระทบต่อระบบนิเวศ เช่น ส่งผลต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ เช่น ปลาและพืชน้ำ



สารหนูอาจสะสมในห่วงโซ่อาหาร ซึ่งสามารถย้อนกลับมาส่งผลกระทบต่อมนุษย์ผ่านการบริโภคอาหารที่ปนเปื้อน (พรชนก มนแก้ว, 2562) การที่โลหะหนักไม่เกินค่ามาตรฐานเป็นผลดีในเบื้องต้น แต่ควรถือเป็นสัญญาณเตือนถึงความจำเป็นในการจัดการและเฝ้าระวังอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อป้องกันผลกระทบที่อาจรุนแรงในอนาคต และสร้างความมั่นใจในความปลอดภัยของทรัพยากรน้ำและสิ่งแวดล้อมในพื้นที่

ผลการศึกษาปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างตะกอนดิน พบว่าโลหะหนักทุกชนิดปนเปื้อนในตัวอย่างตะกอนดินแต่ไม่เกินค่ามาตรฐาน การปนเปื้อนโลหะหนักในบริเวณบ่อขยะมักเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การกำจัดขยะที่มีส่วนประกอบของโลหะ หรือการสลายตัวของขยะอิเล็กทรอนิกส์ โลหะหนักที่พบในตะกอนดินอาจมาจากการชะล้างของน้ำฝนที่นำพาสารปนเปื้อนจากบ่อขยะลงสู่ดิน การที่ระดับความเข้มข้นของโลหะหนักไม่เกินค่ามาตรฐานอาจบ่งชี้ว่าการปนเปื้อนไม่ได้อยู่ในระดับที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสิ่งมีชีวิตในพื้นที่ อย่างไรก็ตาม ค่าที่อยู่ใกล้เคียงกับมาตรฐานอาจเป็นสัญญาณเตือนว่าควรมีมาตรการเฝ้าระวังต่อไป ถึงแม้ว่าการปนเปื้อนโลหะหนักในดินจะไม่เกินมาตรฐานในปัจจุบัน แต่การสะสมในระยะยาวอาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพของดิน แหล่งน้ำใต้ดิน และระบบนิเวศ รวมถึงอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชากรในพื้นที่หากโลหะหนักเหล่านี้เข้าสู่ห่วงโซ่อาหาร (Wang et al., 2025) ผลการศึกษานี้เป็นข้อมูลสำคัญสำหรับการวางแผนการจัดการสิ่งแวดล้อมในพื้นที่และการป้องกันปัญหาที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต

การสะสมโลหะหนักในรากของผักบุ้งที่เรียงลำดับจากมากไปหาน้อย ($Fe > Mn > Ba > Zn > Cu > Cr > Pb > Ni > As > Cd$) สะท้อนให้เห็นถึงปัจจัยทางสภาพแวดล้อมและคุณสมบัติของโลหะหนักแต่ละชนิดที่มีผลต่อการดูดซึมและสะสมในพืช สามารถอธิบายได้ดังนี้ Fe และ Mn มีปริมาณการสะสมในรากสูงที่สุด เนื่องจากเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของพืช และมีการดูดซึมผ่านรากในรูปของไอออนได้ง่ายจากดิน (Zaitsev et al., 2020) การสะสม Ba ในระดับสูงอาจเนื่องมาจากการมีอยู่ของแบเรียมในแหล่งน้ำหรือดินในรูปของสารประกอบที่ละลายน้ำได้ เช่น Ba^{2+} ซึ่งถูกดูดซึมเข้าสู่รากของพืชโดยตรง Zn และ Cu เป็นธาตุอาหารรองที่จำเป็นสำหรับพืช แม้ว่าจะต้องการในปริมาณน้อย แต่พืชยังคงดูดซึมจากดินในระดับหนึ่ง ส่วนโครเมียม ตะกั่ว นิกเกิล สารหนู และแคดเมียม เป็นสารพิษที่ไม่จำเป็นต่อพืชและสิ่งมีชีวิต แต่สามารถสะสมในรากเนื่องจากกระบวนการดูดซึมแบบไม่เลือกจำเพาะของรากพืช (Behtash et al., 2022) การสะสมต่ำเมื่อเทียบกับ Fe และ Mn อาจเกิดจากความสามารถในการเคลื่อนที่ต่ำในดิน หรือการตกตะกอนในรูปของสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำ เช่น $Cr(OH)_3$ หรือ $PbSO_4$ Cd และ As มักสะสมในปริมาณต่ำมาก เนื่องจากมีการดูดซึมจำกัด และในบางกรณีถูกกักเก็บในส่วนอื่น ๆ ของพืชแทน (Leonardi et al., 2021)

ลำดับมีการสะสมของโลหะหนักเรียงลำดับดังนี้ $Mn > Fe > Ba > Zn > Cr > Cu > Pb > Ni > As > Cd$ โลหะหนักที่มีปริมาณมากในดินหรือแหล่งน้ำ Mn และ Fe มีแนวโน้มถูกดูดซึมมากกว่าโลหะหนักที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า (เช่น

Cd และ As) Mn และ Fe เป็นธาตุอาหารรองที่จำเป็นสำหรับพืช ทำให้พืชมีระบบกลไกที่รองรับการดูดซับและเคลื่อนย้ายในลำต้นได้ดี นอกจากนี้ Mn และ Fe มักอยู่ในรูปสารประกอบที่ละลายน้ำได้ดีภายใต้สภาวะปกติ ทำให้ถูกดูดซับได้ง่าย Ba และ Zn สามารถถูกดูดซับได้ในปริมาณปานกลาง ขึ้นอยู่กับ pH ของดินและสถานะออกซิเดชันของโลหะนั้น (Melake et al., 2023) ส่วนโลหะที่มีความเป็นพิษสูง เช่น Cd และ As มักถูกกักเก็บในปริมาณต่ำ เพราะพืชอาจมีกลไกป้องกันการดูดซับเพื่อหลีกเลี่ยงความเสียหาย (Qi et al., 2025) โลหะหนักที่มีพิษสูง เช่น Pb, Cd, และ As มีแนวโน้มสะสมในรากมากกว่าเคลื่อนย้ายไปยังลำต้น เพราะพืชมีการกักเก็บโลหะเหล่านี้ในเซลล์รากเพื่อลดความเสียหายต่อเนื้อเยื่อส่วนอื่น (Shi et al., 2008) การเคลื่อนย้ายของโลหะหนักจากรากไปลำต้นขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น การจับตัวกับสารประกอบในเซลล์ การขนส่งในระบบไซเลม และโครงสร้างของพืช ลำดับการสะสมโลหะหนักในลำต้นของพืชนี้สะท้อนถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะในสิ่งแวดล้อม คุณสมบัติทางเคมีของโลหะ ความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช และกลไกการป้องกันความเป็นพิษของพืชเอง โดย Mn และ Fe มีการสะสมสูงสุดเพราะมีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการชีวภาพ ขณะที่โลหะพิษ เช่น Cd และ As มีการสะสมต่ำสุด เนื่องจากพืชมีการกักเก็บที่รากเพื่อลดความเสียหายต่อส่วนเหนือดิน ก้านมีการสะสมของโลหะหนักเรียงลำดับดังนี้ $Fe > Mn > Ba > Zn > Cr > Cu > Ni > Pb > As > Cd$ Fe เป็นธาตุที่มีปริมาณมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับความจริงที่ว่าเหล็กเป็นธาตุที่พบได้มากในธรรมชาติและมักมีปริมาณสูงในดินหรือแหล่งน้ำ โดยเฉพาะในระบบนิเวศที่มีความเป็นเหล็กออกไซด์หรือดินเหนียวสูง Mn (แมงกานีส) พบในปริมาณรองลงมา มักพบในแหล่งดินหรือน้ำที่มีความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสม และมีบทบาทในการเจริญเติบโตของพืช ใบมีการสะสมของโลหะหนักเรียงลำดับดังนี้ $Fe > Mn > Zn > Ba > Cu > Cr > Pb > Ni > As > Cd$ Fe และ Mn เป็นธาตุที่จำเป็นสำหรับพืช โดย Fe มีบทบาทสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสงและการหายใจในพืช ส่วน Mn มีบทบาทในกระบวนการสร้างเอนไซม์และการทำงานของคลอโรพลาสต์ ธาตุทั้งสองนี้มักพบในดินในปริมาณสูง และพืชมีระบบการดูดซึมเฉพาะสำหรับธาตุเหล่านี้ ดังนั้น พืชจะสะสม Fe และ Mn ได้มากกว่าธาตุโลหะหนักที่เป็นพิษ Zn และ Cu มักถูกสะสมในปริมาณที่ปานกลาง เพราะพืชต้องการใช้ในกระบวนการต่าง ๆ เช่น การสร้างเอนไซม์และการปกป้องจากอนุมูลอิสระ (Alejandro et al., 2020) โลหะหนักที่ไม่จำเป็นต่อพืช (Ba, Cr, Pb, Ni, As, Cd) ธาตุเหล่านี้ไม่มีบทบาททางชีวภาพในพืช และในกรณีของ สารพิษ เช่น Pb, As และ Cd การสะสมมักขึ้นอยู่กับระดับความเป็นพิษและการปรับตัวของพืช (Uzakov and Uzakov, 2023) Ba และ Ni อาจถูกสะสมในระดับปานกลางในบางกรณี ขึ้นอยู่กับชนิดของพืชและลักษณะดิน (Pishchik et al., 2021) As และ Cd มักมีความเป็นพิษสูงและสะสมในพืชในปริมาณน้อย เนื่องจากพืชมีระบบป้องกันการดูดซึมสารพิษเหล่านี้ ลำดับการสะสมโลหะหนักดังกล่าวอาจบ่งชี้ถึงระดับความพร้อมใช้งาน ความจำเป็นทางชีวภาพ และความสามารถของพืชในการปรับตัวต่อโลหะหนักแต่ละชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริบทของมลพิษทางดินและน้ำ ข้อมูลนี้สามารถใช้เพื่อประเมินความเสี่ยงของการ



สะสมโลหะหนักในห่วงโซ่อาหาร วางแผนการปลูกพืชในพื้นที่ปนเปื้อน และพัฒนาเทคนิคฟื้นฟูดินด้วยพืช (phytoremediation)

ค่า TF พบว่า Ba Cr Fe Mn และ Zn มีค่าเกิน 1 บ่งชี้ว่า พืชสามารถเคลื่อนย้ายธาตุเหล่านี้จากราก ไปยังส่วนเหนือดินได้ดี ค่า TF > 1 บ่งบอกว่าพืชสามารถใช้ธาตุเหล่านี้เพื่อสนับสนุนการเจริญเติบโตในส่วนเหนือดินได้ดี มีศักยภาพในการเป็น hyperaccumulator สำหรับธาตุเหล่านี้ ซึ่งเหมาะสำหรับการฟื้นฟูดินที่มีการปนเปื้อนโลหะหนัก (Li et al., 2024) หากพืชนี้เป็นพืชที่บริโภคได้ ค่าการสะสมที่สูง (TF>1) โดยเฉพาะโลหะหนัก เช่น Cr หรือ Zn อาจเป็นความเสี่ยงต่อมนุษย์และสัตว์ผ่านห่วงโซ่อาหาร ค่า TF>1 อาจสะท้อนถึงความสามารถของพืชในการปรับตัวในสภาพแวดล้อมที่มีโลหะหนักในดินสูง พืชบางชนิดพัฒนาเมแทบอลิซึมเพื่อจัดการกับความเป็นพิษของโลหะโดยการสะสมไว้ในใบและลำต้น ค่า TF>1 ของ Ba, Cr, Fe, Mn และ Zn ชี้ให้เห็นว่า พืชมีความสามารถสูงในการเคลื่อนย้ายธาตุเหล่านี้ไปยังส่วนเหนือดิน ซึ่งสามารถเป็นข้อดีในบริบทของ phytoremediation แต่ต้องระวังในกรณีที่พืชเหล่านี้เป็นพืชอาหาร เนื่องจากอาจนำไปสู่ความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการบริโภคโลหะหนักเกินมาตรฐานที่กำหนด

ค่า BAF พบว่า Ba Cr Mn และ Zn ค่าเกิน 1 ค่า BAF มากกว่า 1 หมายความว่าสิ่งมีชีวิตนั้นสะสมสารโลหะหนักในร่างกายได้มากกว่าความเข้มข้นในแหล่งที่อยู่ เช่น หากน้ำมีโลหะหนักในระดับต่ำ แต่สิ่งมีชีวิตกลับมีโลหะหนักสะสมในตัวในระดับสูง แสดงว่าสิ่งมีชีวิตเหล่านั้นมีแนวโน้มที่จะดูดซึมและสะสมโลหะดังกล่าวได้อย่างมีประสิทธิภาพ โลหะหนักเหล่านี้อาจเข้าสู่ร่างกายของสิ่งมีชีวิตผ่านกระบวนการต่างๆ เช่น การดูดซึมผ่านทางราก การที่ค่า BAF ของ Ba, Cr, Mn และ Zn มีค่ามากกว่า 1 แสดงถึงความสามารถในการสะสมโลหะหนักของสิ่งมีชีวิต ซึ่งสะท้อนถึงความเสี่ยงต่อระบบนิเวศและสุขภาพของมนุษย์ (Aladesanmi et al., 2019) การจัดการปัญหานี้จำเป็นต้องใช้วิธีการแบบบูรณาการ ทั้งการควบคุมแหล่งที่มา การฟื้นฟูดินที่ปนเปื้อน และการให้ความรู้แก่ประชาชนเกี่ยวกับผลกระทบและวิธีป้องกัน

ค่า BCF พบว่าโลหะหนักทุกชนิดมีค่าเกิน 1 ยกเว้น Ni และ Zn BCF คือค่าที่บ่งชี้ถึงการสะสมของสารในสิ่งมีชีวิตโดยเปรียบเทียบระหว่างความเข้มข้นของสารในสิ่งมีชีวิตกับความเข้มข้นในสิ่งแวดล้อม (เช่น น้ำหรือดิน) โดยทั่วไปแล้ว ค่า BCF ที่สูงหมายถึงสารนั้นมีความสามารถในการสะสมในสิ่งมีชีวิตมาก ในขณะที่ค่า BCF ต่ำหมายถึงสารนั้นมีการสะสมในสิ่งมีชีวิตน้อยกว่า ค่า BCF ที่ต่ำของ Ni และ Zn บ่งชี้ว่าโลหะหนักทั้งสองชนิดนี้อาจมีการสะสมในสิ่งมีชีวิตในระดับต่ำกว่าเมื่อเทียบกับโลหะหนักชนิดอื่นๆ ซึ่งอาจเกิดจากปัจจัยทางเคมีและชีวภาพที่ช่วยจำกัดการดูดซึมหรือสะสมของสารเหล่านี้ในร่างกายสิ่งมีชีวิต (Mountouris et al., 2002)

ข้อเสนอแนะ

1. ควรทำการตรวจสอบปริมาณโลหะหนักในน้ำและตะกอนดินอย่างสม่ำเสมอเพื่อให้มั่นใจว่าในอนาคตไม่เกิดการเพิ่มขึ้นของระดับโลหะหนักจนเกินค่ามาตรฐานที่กำหนด
2. ควรมีการศึกษาผลกระทบระยะยาวของการสัมผัสโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมในระยะยาว ทั้งในแง่ของสุขภาพของคนอาศัยในพื้นที่ใกล้เคียงและผลกระทบต่อระบบนิเวศ
3. ควรมีการปรับปรุงการจัดการขยะให้เหมาะสมมากขึ้น โดยการลดการปล่อยสารพิษลงสู่แหล่งน้ำและการใช้เทคโนโลยีที่ช่วยลดการปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำและดิน
4. การให้ความรู้แก่ชุมชนเกี่ยวกับผลกระทบของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมและการป้องกันไม่ให้เกิดการปนเปื้อนจะช่วยให้ชุมชนมีส่วนร่วมในการดูแลรักษาสิ่งแวดล้อมอย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. (2567). *รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี 2567* (ออนไลน์). สืบค้นเมื่อวันที่ 5 สิงหาคม 2568
- ธีรนาถ สุวรรณเรือง. (2563) โลหะหนักปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมและผลกระทบต่อสุขภาพ. *วารสารวิจัยและพัฒนาาระบบสุขภาพ*, 13(1), 76-82.
- พรชนก มนแก้ว. (2562). กรณีศึกษาภาวะพิษจากสารหนู. *สมาคมเภสัชกรรมโรงพยาบาล (ประเทศไทย)*, 29(2), 103-117.
- สมคิด ตันเก็ง และ ศิริภัสสร พันธะสา. (2567). การเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักทั้งหมดในน้ำชะขยะก่อนและหลังบำบัดของระบบบ่อบำบัด ณ สถานที่กำจัดขยะมูลฝอยชุมชน จังหวัดพระนครศรีอยุธยา. *วารสารวิชาการชาวนนทศ มรภ.ภูเก็ต*, 8(2), 39-52.
- Adesokan, M.D., Adie, G.U. & Osibanjo, O. (2016). Soil Pollution by Toxic Metals near E-waste Recycling Operations in Ibadan, Nigeria. *Journal of Health and Pollution*, 6(11), 26-33.
- Aladesanmi, O.T., Oroboade, J.G., Osiogun, C.P. & Osewole, A.O. (2019). Bioaccumulation Factor of Selected Heavy Metals in *Zea mays*. *Journal of Health and Pollution*, 9(24), 1-19.
- Alejandro, S., Höller, S., Meier, B. & Peiter, E. (2020). Manganese in Plants: From Acquisition to Subcellular Allocation. *Frontiers in Plant Science*, 11, 1-23.



- Bai, L., Peng, X., Liu, Y., Sun, Y., Zheng, L., Liu, Z., Wan, K., Wang, J., Zhao, J. & Qiu Z. (2020). Association between acute severe mercury poisoning and multiple organ failure. *American Journal of Translational Research*, 12(8), 4347-4353.
- Behtash, F., Abedini, F., Ahmadi, H., Mosavi, S.B., Aghaee, A., Morshedloo, M.R. & Lorenzo, J.M. (2022). Zinc Application Mitigates Copper Toxicity by Regulating Cu Uptake, Activity of Antioxidant Enzymes, and Improving Physiological Characteristics in Summer Squash. *Antioxidants (Basel)*, 11(9), 1-14.
- Leonardi, C., Toscano, V., Genovese, C., Mosselmans, J.F.W., Ngwenya, B.T. & Raccuia, S.A. (2021). Evaluation of cadmium and arsenic effects on wild and cultivated cardoon genotypes selected for metal phytoremediation and bioenergy purposes. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(39), 55102-55115.
- Li G, Cai Z, Huang S, Song Z, Zhang Y, Zheng Z, Luo R and Wang S (2024), Heavy metal accumulation and health risk assessment in *S. alterniflora* Loisel. and native plant *Suaeda salsa* (L.) Pall. in Dongtai Tiaozini wetland. *Frontiers in Environmental Science*, 12, 1-12.
- Melake, B.A., Endalew, S.M., Alamirew, T.S. & Temesegen, L.M. (2023). Bioaccumulation and Biota-Sediment Accumulation Factor of Metals and Metalloids in Edible Fish: A Systematic Review in Ethiopian Surface Waters. *Environmental Health Insights*, 17, 1-10.
- Mountouris, A., Voutsas, E. & Tassios, D. (2002). Bioconcentration of heavy metals in aquatic environments: the importance of bioavailability. *Marine Pollution Bulletin*, 44(10), 1136-1141.
- Qi, W., Bai, J., Yu, H. & Han, G. (2025). Physiological Adaptations of *Vigna radiata* to Heavy Metal Stress: Soluble Sugar Accumulation and Biomass Enhancement. *Plants (Basel)*, 14, 1-14.
- Speer, R.M., Zhou, X., Volk, L.B., Liu, K.J. & Hudson, L.G. (2023). Arsenic and cancer: Evidence and mechanisms. *Advances in Pharmacology*, 96, 151-202.
- Schneider, J.S. (2023). Neurotoxicity and outcomes from developmental lead exposure: persistent or permanent? *Environmental Health Perspectives*, 131(8), 1-5.

- Shi, Y.Z., Ruan, J.Y., Ma, L.F., Han, W.Y. & Wang, F. (2008). Accumulation and distribution of arsenic and cadmium by tea plants. *Journal of Zhejiang University-SCIENCE B*, 9(3), 265-70.
- Uzakov, Z. & Uzakov, Z. (2023). Accumulation of heavy metals in the soil and agricultural crops. *BIO Web of Conferences*, 71,1-11.
- Wang, J., Tao, L., Ren, H., Xue, X., Yang, Z., Jiang, Y. & Ren, J. (2025). Assessment of surface sediment properties and heavy metal contamination in typical urban areas of the Yellow River, China. *Scientific Reports*, 15, 1-10.
- Zaitsev, G.A., Dubrovina, O.A. & Shainurov, R.I. Iron and manganese migration in “soil–plant” system in Scots pine stands in conditions of contamination by the steel plant’s emissions. *Scientific Reports*, 10, 1-11.
- Zinia, S.S., Yang, K.H., Lee, E.J., Lim, M.N., Kim, J., Kim, W.J., & Ko-CHENS Study group. (2023). Effects of heavy metal exposure during pregnancy on birth outcomes. *Scientific Reports*, 13(1), 1-10.