



<https://li01.tci-thaijo.org/index.php/pajrmu/index>

บทความวิจัย

การสะสมโลหะหนักในพื้นที่ปลูกข้าวจังหวัดบุรีรัมย์ ประเทศไทย

นางสุตา ภูมิจำนงค์ นพพล อรุณรัตน์* และ สุกัญญา เสรีนนท์ชัย

คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล อำเภอบางพลี จ.สมุทรปราการ 73170

ข้อมูลบทความ

Article history

รับ: 21 พฤษภาคม 2566

แก้ไข: 23 มิถุนายน 2566

ตอบรับการตีพิมพ์: 23 มิถุนายน 2566

ตีพิมพ์ออนไลน์: 27 มิถุนายน 2566

คำสำคัญ

ข้าว

ความเสี่ยงต่อสุขภาพ

บุรีรัมย์

โลหะหนัก

ประเทศไทย

บทคัดย่อ

การปนเปื้อนของโลหะหนักในนาข้าวถือเป็นปัญหาที่กว้างไกลในหลายประเทศในเอเชีย การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจวัดปริมาณโลหะหนัก (ทองแดง แมงกานีส สังกะสี ตะกั่ว และแคดเมียม) และประเมินการได้รับโลหะหนักต่อวันในพื้นที่ปลูกข้าวของจังหวัดบุรีรัมย์ โดยวิเคราะห์ตัวอย่างดิน 62 ตัวอย่าง ตัวอย่างน้ำ 57 ตัวอย่าง ตัวอย่างต้นข้าว 62 ตัวอย่าง และตัวอย่างเมล็ดข้าว 11 ตัวอย่าง ด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer (AAS) และคำนวณหาการได้รับโลหะหนักต่อวัน (Estimated daily intake, EDI) จากการบริโภคข้าวของประชาชนในจังหวัดบุรีรัมย์ ผลการศึกษา พบว่า ปริมาณทองแดงในต้นข้าวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างพื้นที่ในเขตชลประทานและนอกเขตชลประทาน โดยมีค่าเท่ากับ 4.258 และ 1.963 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ ความเข้มข้นของแมงกานีสพบในดินสูงที่สุด และพบในเมล็ดข้าวน้อยที่สุด ปริมาณตะกั่วพบการสะสมในดินมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างพื้นที่ในเขตชลประทานและนอกเขตชลประทาน โดยมีค่าเท่ากับ 30.85 และ 42.794 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ในต้นข้าวพบการสะสมของปริมาณตะกั่วสูงที่สุดเท่ากับ 47.858 และ 45.786 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ในเขตชลประทานและนอกเขตชลประทาน ตามลำดับ ปริมาณสังกะสีพบสูงที่สุดในต้นข้าว ซึ่งมีค่าเท่ากับ 21.958 และ 23.203 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ในเขตชลประทานและนอกเขตชลประทาน ตามลำดับ ปริมาณแคดเมียมพบในน้ำมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างพื้นที่ในเขตชลประทานและนอกเขตชลประทาน โดยมีค่าเท่ากับ 0.0001 และ 0.0011 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ในเมล็ดข้าว พบการสะสมของแคดเมียมสูงที่สุดเมื่อเทียบกับในดิน น้ำ และต้นข้าว โดยมีค่าเท่ากับ 0.119 และ 0.114 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ในเขตชลประทานและนอกเขตชลประทาน ตามลำดับ นอกจากนี้ จากการประเมินค่า EDI พบว่า ไม่เกินค่าที่แนะนำต่อวัน (Recommended daily dietary allowances, RDI) ยกเว้น ปริมาณตะกั่วที่มีค่า EDI (0.39 มิลลิกรัม/คน/วัน) สูงกว่าค่า RDI (0.21 มิลลิกรัม/คน/วัน) การปนเปื้อนโลหะหนักในพื้นที่ปลูกข้าวเกิดจากหลายแหล่งกำเนิด ด้วยเหตุนี้ การทดสอบหาปริมาณโลหะหนักในพื้นที่ปลูกข้าว และติดตามความเสี่ยงต่อสุขภาพของมนุษย์อย่างสม่ำเสมอจึงเป็นสิ่งสำคัญ

บทนำ

ข้าว (*Oryza sativa*) เป็นแหล่งพลังงานและสารอาหารที่สำคัญ และเป็นอาหารหลักในประเทศไทย ความปลอดภัยของอาหาร โดยเฉพาะการวัดปริมาณโลหะหนักในข้าวจึงเป็นสิ่งสำคัญ การปลูกพืชข้าวบนดินที่เป็นมลพิษอาจก่อให้เกิดอันตรายร้ายแรงต่อชีวิตมนุษย์ได้ (Saleem et al., 2020) น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและการทำเหมืองแร่เป็นสาเหตุสำคัญของความเป็นพิษ (Javed et al., 2020) การเผาไหม้ของขยะ ไอเสียของยานพาหนะ การใส่ปุ๋ยเคมีและการบำบัดกากตะกอนน้ำเสียที่เป็นปุ๋ยบนพื้นที่ปลูกพืชข้าว สิ่งเหล่านี้ล้วนเป็นสาเหตุหลักของการปนเปื้อนโลหะหนัก (Zaheer et al., 2020)

การสะสมของโลหะหนัก โดยเฉพาะแคดเมียม (Cadmium, Cd) ตะกั่ว (Lead, Pb) ทองแดง (Copper, Cu) สังกะสี (Zinc, Zn) และแมงกานีส (Manganese, Mn) ในอาหารอาจเป็นพิษต่อสุขภาพมนุษย์ แคดเมียมเป็นหนึ่งในโลหะหนักที่เป็นพิษซึ่งพบได้บ่อยและแพร่หลายมากที่สุด เมื่อมีการปนเปื้อนในข้าวหามนุษย์ได้รับเข้าไป

จะส่งผลต่อท่อไตส่วนต้น (Proximal tubule) เกิดภาวะโลหิตจาง และสูญเสียแร่ธาตุในกระดูกอย่างรุนแรง ส่งผลให้กระดูกหัก (Reilly, 2002) นอกจากนี้ ยังมีการระบุนกโรคไต-อิตาลี ในผู้ที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ที่มีมลพิษจากแคดเมียมอีกด้วย (Waalkes, 2000) นอกจากนี้ สารตะกั่วซึ่งกระจายอยู่ทั่วไปในสิ่งแวดล้อม มีพิษต่อระบบประสาทส่วนกลาง สังกะสีที่ระดับการบริโภคมากกว่า 250 มิลลิกรัม/วัน ในผู้ใหญ่ทำให้เกิดการระคายเคืองในลำไส้ คลื่นไส้ อาเจียน และปวดท้อง (Plum et al., 2010) การบริโภคทองแดงในปริมาณเล็กน้อย ซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญของเอนไซม์รีดอกซ์และฮีโมโกลบิน เกี่ยวข้องกับการทำงานของไมโทคอนเดรีย เมแทบอลิซึมของเซลล์ การสร้างเนื้อเยื่อ และการดูดซึม (Ruiz et al., 2021) แมงกานีสทำหน้าที่เป็นปัจจัยร่วมที่จำเป็นของเอนไซม์หลายชนิดที่จำเป็นสำหรับการทำงานของเซลล์ประสาทและเซลล์เกลีย (Glial cell) เช่นเดียวกับเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์สารสื่อประสาทและเมแทบอลิซึม (Erikson & Aschner, 2003) โลหะหนักเหล่านี้มี

*Corresponding author

E-mail address: noppol.aru@mahidol.ac.th (N. Arunrat)

Online print: 27 June 2023 Copyright © 2023. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2023.17>

โครงสร้างที่เคลื่อนที่ได้ ดังนั้นจึงสามารถเคลื่อนที่จากดินสู่พืชได้ (Dogan et al., 2011) องค์ประกอบเหล่านี้แสดงถึงการเคลื่อนที่ระหว่างรากพืชกับยอด และระหว่างยอดกับรวง ผลผลิตพืชที่ปนเปื้อนอาจเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต

จังหวัดบุรีรัมย์ เป็นจังหวัดหนึ่งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่เป็นพื้นที่เพาะปลูกข้าวหอมมะลิที่สำคัญของประเทศไทย นอกจากนี้ จังหวัดบุรีรัมย์มีข้าวที่ใช้เป็นสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ (Geographical indication, GI) คือ ข้าวหอมมะลิถิ่นภูเขาไฟบุรีรัมย์ ซึ่งครอบคลุม 7 อำเภอ ได้แก่ อำเภอเมืองบุรีรัมย์ อำเภอละหานทราย อำเภอเฉลิมพระเกียรติ อำเภอห้วยราช อำเภอประโคนชัย อำเภอปะคำ และอำเภอนางรอง อย่างไรก็ตามจากการศึกษาประเทศแถบเอเชียพบว่า ธาตุสังกะสี ทองแดง นิกเกิล (Ni) และตะกั่ว สะสมได้มากที่สุดในรากของพืชข้าว ซึ่งรวมถึงเมล็ดข้าว ดินนา และมูลสัตว์ รวมถึงระบบน้ำชลประทาน (Rittirong & Saenboonruang, 2018) โลหะหนักเหล่านี้สามารถถูกเคลื่อนย้ายจากดินไปยังพืชผ่านทางรากหรือลำต้น (Uchida et al., 2019) โลหะหนักที่เป็นพิษ เช่น ตะกั่ว แคดเมียม และสารหนู (As) ถูกเคลื่อนย้ายจากดินและสะสมในเมล็ดธัญพืชได้อีกด้วย (Feng-Hu et al., 2014) ดังนั้นความสามารถในการเคลื่อนย้ายของโลหะหนักจากดินไปยังพืชมีผลต่อรูปแบบการสะสมทางชีวภาพ (Bioaccumulation) (Sekara et al., 2015) การศึกษาครั้งนี้จึงมี

วัตถุประสงค์เพื่อตรวจวัดปริมาณโลหะหนัก (ทองแดง แมงกานีส สังกะสี ตะกั่ว และแคดเมียม) ในดิน น้ำ ต้นข้าว และเมล็ดข้าว และประเมินการได้รับโลหะหนักต่อวัน ในพื้นที่ปลูกข้าวของจังหวัดบุรีรัมย์ โดยมีสมมติฐานการวิจัย คือ ปริมาณโลหะหนักที่ได้รับมีค่าไม่เกินค่าที่แนะนำต่อวัน

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

พื้นที่ศึกษา

ครอบคลุมพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมดของจังหวัดบุรีรัมย์ โดยใช้การซ้อนทับกับข้อมูลพื้นที่ปลูกข้าวจากกรมพัฒนาที่ดิน ปี พ.ศ. 2550 และกำหนดระวางขนาด 11×11 ตารางกิโลเมตร ประกอบด้วย พื้นที่ปลูกข้าวในเขตชลประทาน 7 ระวาง และพื้นที่ปลูกข้าวนอกเขตชลประทาน 55 ระวาง การกำหนดพื้นที่ปลูกข้าวในเขตชลประทานพิจารณาจากการซ้อนทับของข้อมูลระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ของระบบชลประทาน และแหล่งน้ำตามธรรมชาติ มากกว่าร้อยละ 50 ของระวาง โดยเลือกเก็บตัวอย่างตามระวางที่มีพื้นที่ปลูกข้าวมากกว่าร้อยละ 50 ดังนั้น รวมระวางที่ศึกษาทั้งหมด 62 ระวาง (Figure 1)

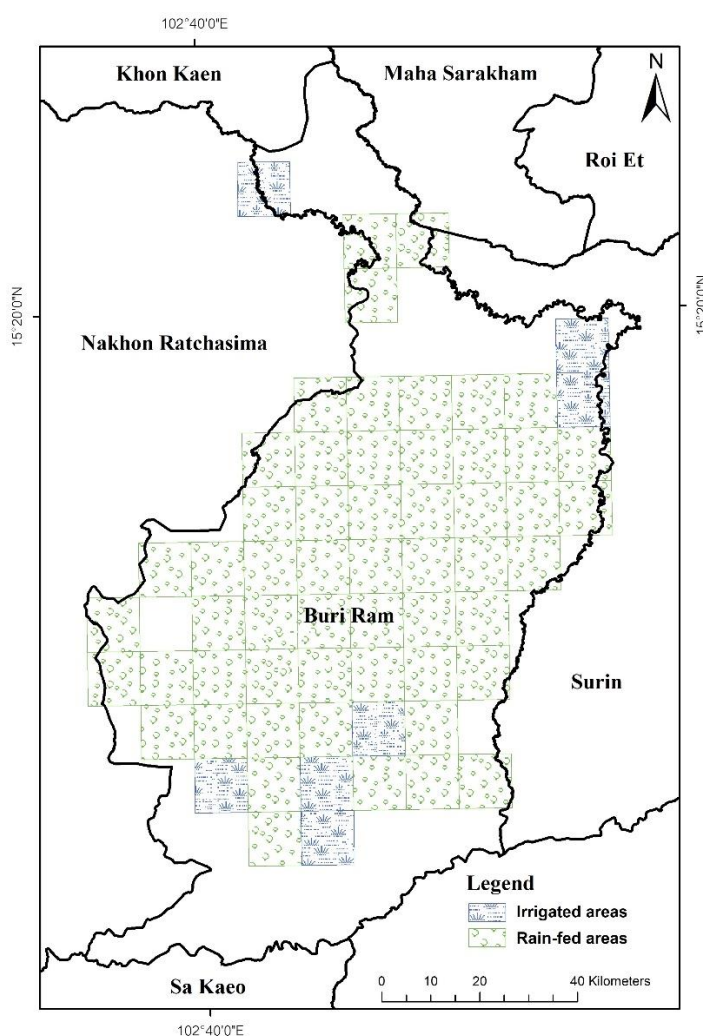


Figure 1 Study area

การเก็บตัวอย่างดินและต้นข้าว

ตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 20 เซนติเมตร ได้ถูกเก็บให้ครอบคลุม 62 ไร่ ทั้งพื้นที่ปลูกข้าวในเขตชลประทานและนอกเขตชลประทาน โดยใช้วิธีเก็บแบบวิธีการผสม (Composite soil sample) (Satachon et al., 2019) โดยที่ตัวอย่างดินแต่ละไร่ถูกเก็บแบบกระจายจำนวน 3 จุด และนำดินทั้ง 3 จุดมาผสมกัน เพื่อใช้เป็นตัวแทนของตัวอย่างดินของแต่ละไร่ จากนั้นตัวอย่างดินประมาณ 1 กิโลกรัม ถูกบรรจุในถุงพลาสติกเพื่อนำมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการต่อไป สำหรับตัวอย่างต้นข้าว ได้ถูกเก็บจากแปลงนาเดียวกับการเก็บตัวอย่างดิน ดังนั้น จำนวนตัวอย่างดินและต้นข้าวทั้งหมดอย่างละ 62 ตัวอย่าง

การเก็บตัวอย่างน้ำ

การเก็บตัวอย่างน้ำ แบ่งออกเป็น 2 แหล่ง คือ การเก็บตัวอย่างเพื่อเป็นตัวแทนของน้ำจากการทำนาด้วยน้ำชลประทานและนาข้าวที่ใช้น้ำฝน สุ่มเก็บตัวอย่างน้ำจากแหล่งน้ำตามธรรมชาติ หรือ คลองส่งน้ำชลประทานทั้งนี้ต้องใกล้เคียงกับตำแหน่งเก็บตัวอย่างดิน จำนวนตัวอย่างทั้งหมด 57 ตัวอย่าง จาก 19 ไร่ ซึ่งในแต่ละไร่เก็บตัวอย่างน้ำได้ประมาณ 2-4 ตัวอย่าง ขึ้นอยู่กับจำนวนสาขาของแหล่งน้ำตามธรรมชาติ หรือ คลองส่งน้ำชลประทาน จากนั้น นำตัวอย่างน้ำใส่ขวดเก็บตัวอย่างพลาสติกโพลีเอทิลีนฟลาเกลียว หดกรดไนตริก (HNO_3) 2 ml เพื่อคงคุณสมบัติการแตกตัวของไอออนในน้ำตัวอย่างไว้ เขียนจุดเก็บตัวอย่างและจำนวนซ้ำไว้ข้างขวดเก็บตัวอย่างจากนั้นนำไปแช่ในกล่องเก็บความเย็นอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อนำมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการต่อไป

การเก็บตัวอย่างเมล็ดข้าว

รวบรวมเมล็ดข้าวเปลือกจากเกษตรกรในพื้นที่ศึกษา ได้จำนวน 5 ตัวอย่าง ในเขตชลประทาน และ จำนวน 6 ตัวอย่าง นอกเขตชลประทาน จำนวนตัวอย่างทั้งหมด 11 ตัวอย่าง โดยรวบรวมจากเกษตรกรที่ยังคงเก็บเมล็ดข้าวเปลือกไว้เพื่อบริโภคในครัวเรือนและเก็บเกี่ยวจากแปลงนาที่เก็บตัวอย่างดิน ต้นข้าว และน้ำ

การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างดิน น้ำ ต้นข้าว และเมล็ดข้าว

ปริมาณโลหะหนัก 5 ชนิด ได้แก่ ทองแดง แมงกานีส สังกะสี ตะกั่ว และแคดเมียม กระบวนการย่อยตัวอย่างใช้วิธี Microwave acid digestion (Figure 2 (a)) (Faculty of Environment and Resources Studies, Mahidol University, n.d.) อ้างอิงตาม Method 3051A (USEPA, 2007) จากนั้น นำตัวอย่างดิน น้ำ ต้นข้าว และเมล็ดข้าว มาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer (AAS) (Figure 2 (b)) (Faculty of Environment and Resources Studies, Mahidol University, n.d.) โดยใช้เครื่อง Flame atomic absorption spectrophotometer สำหรับวิเคราะห์หาปริมาณทองแดง ตะกั่ว สังกะสี และแมงกานีส และใช้เครื่อง Graphite atomic absorption spectrophotometer สำหรับวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียมเนื่องจากแคดเมียมมีปริมาณน้อยกว่าโลหะหนักชนิดอื่น ๆ



(a)



(b)

Figure 2 Instruments for heavy metal analysis (a) Microwave acid digestion and (b) Atomic absorption spectrometer.

การประเมินการได้รับโลหะหนักต่อวัน (Estimated daily intake, EDI)

ค่า EDI ประเมินจากการบริโภคข้าวต่อวัน โดยคำนวณได้จากสมการ (1)

$$EDI = C_{\text{elements}} \times DC_{\text{rice}} \quad (1)$$

โดยที่ C_{elements} คือ ค่าเฉลี่ยของปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดในข้าว และ DC_{rice} คือ ค่าเฉลี่ยปริมาณการบริโภคข้าวต่อวัน ในการศึกษา กำหนดให้ ค่า DC_{rice} เท่ากับ 233 กรัม/คน/วัน (Srinuttrakul et al., 2018)

การวิเคราะห์ทางสถิติ

การวิเคราะห์ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของปริมาณโลหะหนักในพื้นที่ปลูกข้าวในเขตชลประทาน และนอกเขตชลประทาน

ด้วยวิธี t-test และใช้ One-way ANOVA และ Post Hoc Tukey's HSD tests ในการวิเคราะห์ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของปริมาณโลหะหนักในดิน ต้นข้าว และเมล็ดข้าว โดยใช้โปรแกรม SPSS version 21

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก 5 ชนิด (ทองแดง แมงกานีส ตะกั่ว สังกะสี และแคดเมียม) ในดินนาข้าว น้ำสำหรับการเพาะปลูกข้าว ต้นข้าว และเมล็ดข้าว พบว่า ปริมาณทองแดงในดินข้าวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างพื้นที่ในเขตชลประทานและนอกเขตชลประทาน โดยมีค่าเท่ากับ 4.258 และ 1.963 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ โดยพบปริมาณทองแดงในเมล็ดข้าว น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับในดิน น้ำ และต้นข้าว ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.0025

และ 0.0028 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ในเขตชลประทานและนอกเขตชลประทาน ตามลำดับ ในขณะที่การสะสมของทองแดงในต้นข้าว (4.258 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) และดิน (2.396 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) สูงที่สุด สำหรับในเขตชลประทานและนอกเขตชลประทาน ตามลำดับ (Table 1)

ปริมาณแมงกานีส พบการสะสมในดินและน้ำที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างพื้นที่ในเขตชลประทานและนอกเขตชลประทาน ปริมาณแมงกานีสในดินมีค่าเท่ากับ 208.808 และ 185.084 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ในเขตชลประทานและนอกเขตชลประทาน ตามลำดับ สำหรับปริมาณแมงกานีสในน้ำมีค่าเท่ากับ 0.019 และ 0.134 มิลลิกรัม/ลิตร ในเขตชลประทานและนอกเขตชลประทาน ตามลำดับ นอกจากนี้ พบการสะสมของแมงกานีสในดินสูงที่สุด ในขณะที่ พบแมงกานีสในเมล็ดข้าวน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับในน้ำ ต้นข้าว และดิน (Table 1)

ปริมาณตะกั่ว พบการสะสมในดินมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างพื้นที่ในเขตชลประทานและนอกเขตชลประทาน โดยมีค่าเท่ากับ 30.85 และ 42.794 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ในต้นข้าว พบการสะสมของปริมาณตะกั่วสูงที่สุด เท่ากับ 47.858 และ 45.786 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ในเขตชลประทานและนอกเขตชลประทาน ตามลำดับ ในขณะที่ พบการสะสมของตะกั่ว น้อยที่สุดในน้ำ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.889 และ 0.923 มิลลิกรัม/ลิตร ในเขตชลประทานและนอกเขตชลประทาน ตามลำดับ (Table 1)

ปริมาณสังกะสี พบการสะสมในดินมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างพื้นที่ในเขตชลประทานและนอกเขตชลประทาน โดยมีค่าเท่ากับ 4.758 และ 7.602 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ นอกจากนี้ พบ การสะสมของสังกะสีน้อยที่สุดในน้ำ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.017 และ 0.016 มิลลิกรัม/ลิตร ในเขตชลประทานและนอกเขตชลประทาน ตามลำดับ ในทางตรงกันข้าม พบปริมาณสังกะสีสูงที่สุดในต้นข้าว ซึ่งมีค่าเท่ากับ 21.958 และ 23.203 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ในเขตชลประทานและนอกเขตชลประทาน ตามลำดับ (Table 1)

ปริมาณแคดเมียม พบในน้ำมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างพื้นที่ในเขตชลประทานและนอกเขตชลประทาน โดยมีค่าเท่ากับ 0.0001 และ 0.0011 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งเป็นการสะสมน้อยที่สุด อย่างไรก็ตาม ในเมล็ดข้าว พบการสะสมของแคดเมียมสูงที่สุดเมื่อเทียบกับในดิน น้ำ และต้นข้าว โดยมีค่าเท่ากับ 0.119 และ 0.114 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ในเขตชลประทานและนอกเขตชลประทาน ตามลำดับ (Table 1)

เมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของโลหะหนักในพื้นที่ปลูกข้าวอื่น ๆ พบว่า ปริมาณโลหะหนักในพื้นที่ปลูกข้าวในจังหวัดบุรีรัมย์ค่อนข้างต่ำ เช่น นาข้าวในตำบลแพรกหนามแดง จังหวัดสมุทรสงคราม พบความเข้มข้นของทองแดงและสังกะสีในดิน เท่ากับ 16-20 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และ 55-66 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ (Kingsawat & Roachananakan, 2011) การสะสมของทองแดงและสังกะสีในเมล็ดข้าวในทราบบสูงโคราชและในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีค่าเท่ากับ 1.05-2.47 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และ 11.65-12.89 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ (Inboonchuay et al., 2015) นอกจากนี้ Cheun-im et al. (2008) ศึกษาการสะสมโลหะหนักในดินปลูกข้าวอินทรีย์ในจังหวัดปทุมธานี พบว่า ปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างดินจากพื้นที่คลอง 6 มีค่าเฉลี่ยของแคดเมียม เท่ากับ 0.02 มิลลิกรัม/กิโลกรัม โครเมียม (Chromium, Cr) เท่ากับ 1.17 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตะกั่วเท่ากับ 0.23 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ทองแดงเท่ากับ 2.49 มิลลิกรัม/กิโลกรัม นิกเกิล (Nickel, Ni) เท่ากับ 2.47 มิลลิกรัม/

กิโลกรัม สังกะสีเท่ากับ 12.86 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และ เหล็ก (Iron, Fe) เท่ากับ 394.60 มิลลิกรัม/กิโลกรัม สำหรับปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างดินของแปลงจากพื้นที่คลอง 11 มีค่าเฉลี่ยของแคดเมียม เท่ากับ 0.05 มิลลิกรัม/กิโลกรัม โครเมียมเท่ากับ 0.17 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตะกั่วเท่ากับ 1.38 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ทองแดงเท่ากับ 2.31 มิลลิกรัม/กิโลกรัม นิกเกิลเท่ากับ 1.97 มิลลิกรัม/กิโลกรัม สังกะสีเท่ากับ 3.04 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และ เหล็กเท่ากับ 537.19 มิลลิกรัม/กิโลกรัม การศึกษาที่สรุปว่า ปริมาณโลหะหนักที่พบอยู่ในปริมาณที่ต่ำกว่าค่าวิกฤตมากและต่ำกว่าค่าความเข้มข้นที่ใช้ประเมินความเสี่ยงของการเกิดมลพิษจากการปนเปื้อนโลหะหนัก ยกเว้นความเข้มข้นของเหล็กที่มีค่าสูงกว่า ในขณะที่ การศึกษาของ Kukusamude & Kongsri (2019) พบว่า ความเข้มข้นของแคดเมียมในข้าวเหนียวในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีค่าอยู่ในช่วง 0.003-0.092 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (ค่าเฉลี่ย 0.024 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) การศึกษาของ Satachon et al (2019) ศึกษาความเสี่ยงต่อสุขภาพจากโลหะหนักในพื้นที่ปลูกข้าวอินทรีย์ที่ไม่ผ่านการรับรอง (Non-certified organic rice farming) ในจังหวัดนครนายก ผลการศึกษา พบความเข้มข้นของโลหะหนักในดินและเมล็ดข้าวเรียงตามลำดับดังนี้ ตะกั่ว > แมงกานีส > สังกะสี > ทองแดง > นิกเกิล และ สังกะสี > แมงกานีส > ทองแดง > นิกเกิล อย่างไรก็ตาม การปนเปื้อนของตะกั่ว และสังกะสี มีค่าเกินระดับสูงสุดที่อนุญาตในเมล็ดข้าว นอกจากนี้ ยังพบว่า ข้าวอินทรีย์ที่ไม่ผ่านการรับรองในพื้นที่นี้อาจก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพของผู้บริโภค โดยมีค่าบ่งชี้ถึงความเสี่ยงต่อสุขภาพที่ร้ายแรงสำหรับผู้บริโภค

การศึกษานี้ ยังพบว่า ปริมาณทองแดง แมงกานีส และสังกะสี มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทั้งในดิน ต้นข้าว และเมล็ดข้าว รวมทั้งในเขตพื้นที่ชลประทานและนอกเขตชลประทาน ในขณะที่ปริมาณตะกั่ว พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เฉพาะในพื้นที่ชลประทาน แต่พื้นที่นอกเขตชลประทานนั้น พบปริมาณตะกั่วในดินและในต้นข้าว ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ สำหรับปริมาณแคดเมียม พบว่า การสะสมในดินและเมล็ดข้าวในเขตพื้นที่ชลประทาน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ในขณะที่ ปริมาณแคดเมียมในดินและต้นข้าวนอกเขตพื้นที่ชลประทาน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ จากผลการศึกษา ยังพบว่าปริมาณแมงกานีส ตะกั่ว และสังกะสี สะสมในต้นข้าวสูงที่สุดในขณะที่ แคดเมียมพบสะสมในดินสูงที่สุด ทั้งในเขตพื้นที่ชลประทานและนอกเขตชลประทาน (Table 1)

จากการประเมินการได้รับโลหะหนักต่อวันในพื้นที่จังหวัดบุรีรัมย์ ซึ่งแสดงด้วยค่า EDI และเทียบกับค่าแนะนำต่อวัน (Recommended daily dietary allowances, RDI) พบว่า จากการประเมินการได้รับโลหะหนักต่อวันไม่เกินค่าที่แนะนำต่อวัน ยกเว้นปริมาณตะกั่วที่มีค่า EDI (0.39 มิลลิกรัม/คน/วัน) สูงกว่าค่า RDI (0.21 มิลลิกรัม/คน/วัน) (Table 2) อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษานี้ยังไม่ได้ยืนยันถึงความเป็นพิษของปริมาณตะกั่วที่อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพ เนื่องจาก การรวบรวมจำนวนตัวอย่างเมล็ดข้าวยังไม่ครอบคลุมในทุกพื้นที่และทุกสายพันธุ์ข้าว ดังนั้น เพื่อยืนยันผลวิเคราะห์ที่มีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น งานวิจัยในอนาคตควรดำเนินการตามคำแนะนำดังกล่าว จากการศึกษาของ Kukusamude & Kongsri (2019) พบว่า ค่า EDI ในการบริโภคข้าวเหนียวในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เท่ากับ 2.0×10^{-5} และ 2.4×10^{-5} มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักตัว ของเพศชายและหญิงตามลำดับ

นอกจากนี้ จากการศึกษาของ Srinuttrakul et al. (2018)

ศึกษาปริมาณโลหะหนัก (สารหนู แคดเมียม ทองแดง แมงกานีส และ สังกะสี) ในข้าวสังข์หยด จังหวัดพัทลุง ผลการศึกษา พบค่า EDI ของ สารหนู เท่ากับ 0.019-0.045 มิลลิกรัม/วัน ค่า EDI ของแคดเมียม เท่ากับ 0.003-0.013 มิลลิกรัม/วัน ค่า EDI ของทองแดง เท่ากับ 0.15-0.37 มิลลิกรัม/วัน ค่า EDI ของแมงกานีส เท่ากับ 2.94-3.75 มิลลิกรัม/วัน และ ค่า EDI ของสังกะสี เท่ากับ 5.12-5.88 มิลลิกรัม/วัน

ในการศึกษาดังกล่าว ใช้การอ้างอิงค่า RDI จาก United States Department of Agriculture/United States Department of Health and Human Services, Dietary Guidelines for Americans ปี ค.ศ. 2010 ซึ่งยืนยันว่าข้าวสังข์หยดในพื้นที่ศึกษามี ความปลอดภัยต่อสุขภาพ

Table 1 Heavy metal concentration (mean $\pm$ SD) in paddy fields

Study areas	Types of heavy metal				
	Cu	Mn	Pb	Zn	Cd
Irrigated areas					
Soil (mg/kg)	2.367 $\pm$ 2.02 ^A	208.808 $\pm$ 120.46 ^{AB}	30.85 $\pm$ 10.92 ^{AB}	4.758 $\pm$ 2.76 ^{AB}	0.094 $\pm$ 0.12 ^A
Water (mg/L)	0.039 $\pm$ 0.007 ^X	0.019 $\pm$ 0.031 ^{AX}	0.889 $\pm$ 0.387 ^X	0.017 $\pm$ 0.011 ^X	0.0001 $\pm$ 0.0002 ^{AX}
Rice plant (mg/kg)	4.258 $\pm$ 3.86 ^{AB}	372.7 $\pm$ 51.73 ^B	47.858 $\pm$ 20.59 ^B	21.958 $\pm$ 9.95 ^B	0.024 $\pm$ 0.01 ^B
Rice grain (mg/kg)	0.0025 $\pm$ 0.0007 ^C	0.0001 $\pm$ 0.00006 ^C	1.645 $\pm$ 0.08 ^C	0.735 $\pm$ 0.16 ^C	0.119 $\pm$ 0.007 ^A
Rain-fed areas					
Soil (mg/kg)	2.396 $\pm$ 3.2 ^A	185.084 $\pm$ 228.0 ^{BA}	42.794 $\pm$ 18.71 ^{BA}	7.602 $\pm$ 9.91 ^{BA}	0.024 $\pm$ 0.03 ^A
Water (mg/L)	0.039 $\pm$ 0.008 ^X	0.134 $\pm$ 0.275 ^{BX}	0.923 $\pm$ 0.272 ^X	0.016 $\pm$ 0.008 ^X	0.0011 $\pm$ 0.0043 ^{BX}
Rice plant (mg/kg)	1.963 $\pm$ 2.82 ^{BA}	380.51 $\pm$ 161.48 ^B	45.786 $\pm$ 16.15 ^A	23.203 $\pm$ 7.75 ^B	0.021 $\pm$ 0.03 ^A
Rice grain (mg/kg)	0.0028 $\pm$ 0.003 ^B	0.0001 $\pm$ 0.00003 ^C	1.662 $\pm$ 0.07 ^B	0.541 $\pm$ 0.162 ^C	0.114 $\pm$ 0.005 ^B

^{a-b} Significant difference ($p \leq 0.05$) between irrigated and rain-fed areas. ^{A-C} Significant difference ($p \leq 0.05$) among heavy metal concentration in soil, rice plant and rice grain. ^X The concentration of heavy metals in water was not statistically compared to the significant differences in soil, rice plants, and rice grains due to the use of different measurement units.

Table 2 Comparison of the EDI of heavy metals (mean $\pm$ SD) from rice grain studied with the RDI

Types of heavy metal	EDI (mg/day/person)	RDI (mg/day/person)		References
		Male	Female	
Cu	0.00061 $\pm$ 0.00003	0.90	0.90	Srinuttrakul et al. (2018)
Mn	0.00002 $\pm$ 0.000001	2.30	1.80	Srinuttrakul et al. (2018)
Pb	0.39 $\pm$ 0.11	0.21	0.21	Atique Ullah et al. (2017)
Zn	0.15 $\pm$ 0.08	11.00	8.00	Srinuttrakul et al. (2018)
Cd	0.027 $\pm$ 0.005	0.06	0.06	Atique Ullah et al. (2017)

การปนเปื้อนโลหะหนักในพื้นที่ปลูกข้าว สามารถมาจากหลาย แหล่งกำเนิด ได้แก่ มูลสัตว์ (Sungur et al., 2016) แหล่งน้ำ ชลประทานที่ปนเปื้อนโลหะหนักมาจากน้ำเสียบ้านเรือน และโรงงาน อุตสาหกรรม (Rittirong & Saenboonruang, 2018) รวมถึง ปุ๋ยเคมี ยาฆ่าแมลงและสารกำจัดวัชพืช (Rehman et al., 2019) และถนนที่มีการจราจรหนาแน่น (Satachon et al., 2019) นอกจากนี้ ความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการบริโภคในชีวิตประจำวันที่มีการปนเปื้อนโลหะหนัก อาจไม่ใช่เพียงแค่การบริโภคข้าวเพียงอย่างเดียวเท่านั้น แต่ อาจจะมาจากกิจกรรมการใช้ชีวิตประจำวัน รวมถึงการบริโภคผัก ผลไม้ และเนื้อสัตว์อื่น ๆ ด้วย ดังนั้น ความรอบคอบในการบริโภค อาหาร และหมั่นตรวจสุขภาพร่างกายอย่างสม่ำเสมอ จึงเป็นสิ่งจำเป็น

สรุปผลการวิจัย

การศึกษานี้พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของโลหะหนักที่สะสมในดิน น้ำ ต้นข้าว และเมล็ดข้าว ระหว่างพื้นที่ปลูกข้าวในเขตชลประทานและนอกเขตชลประทานในจังหวัดบุรีรัมย์ จากการประเมิน การได้รับโลหะหนักต่อวัน พบว่า มีค่าไม่เกินค่าที่แนะนำต่อวัน ยกเว้น ปริมาณตะกั่ว ที่มีค่า EDI (0.39 มิลลิกรัม/คน/วัน) สูงกว่าค่า RDI (0.21 มิลลิกรัม/คน/วัน) การปนเปื้อนโลหะหนักในพื้นที่ปลูกข้าวสามารถเกิด จากหลายแหล่งกำเนิด ด้วยเหตุนี้ การทดสอบหาปริมาณโลหะหนักใน พื้นที่ปลูกข้าว และ ติดตามความเสี่ยงต่อสุขภาพของมนุษย์อย่างสม่ำเสมอ จึงเป็นสิ่งสำคัญ

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ได้รับการสนับสนุนจาก มหาวิทยาลัยมหิดล สัญญาเลขที่ งป.54/2558 และสัญญาเลขที่ งป.31/2559

References

- Atique Ullah, A. K. M., Maksud, M. A., Khan, S. R., Lutfi, L. N., & Quraishi, S. B. (2017). Dietary intake of heavy metals from eight highly consumed species of cultured fish and possible human health risk implications in Bangladesh. *Toxicology Reports*, 4, 574-579. doi:10.1016/j.toxrep.2017.10.002
- Cheun-im, N., Sinbuathong, N., Ingkapradit, W., Koonket, K., Inklang, V., & Hom-ngarm, V. (2008). Accumulation of heavy metals in soil from organic paddy field. *Proceedings of the 46th Kasetsart University annual conference: Plants* (pp. 521-525). Bangkok: Kasetsart University. (in Thai)
- Dogan, Y., Ugulu, I., Durkan, N., Unver, M. C., & Mert, H. H. (2011). Determination of some ecological characteristics and economical importance of *Vitex agnus-castus*. *Eurasian Journal of Biosciences*, 5(5),

- 10-18. doi:10.5053/ejobios.2011.5.0.2
- Erikson, K. M., & Aschner, M. (2003). Manganese neurotoxicity and glutamate- GABA interaction. *Neurochemistry International*, 43(4-5), 475-480. doi:10.1016/S0197-0186(03)00037-8
- Faculty of Environment and Resources Studies, Mahidol University. (n. d.). *Environmental quality measurement and analysis service*. Accessed June 21, 2023. Retrieved from https://en.mahidol.ac.th/images/lab/publication_edit65.pdf (in Thai)
- Feng-Hu, X., Jiang, Y., Shu, Y., Hu, X., Liu, L., & Luo, F. (2014). Effects of mining wastewater discharges on heavy metal pollution and soil enzyme activity of the paddy fields. *Journal of Geochemical Exploration*, 147(Part B), 139- 150. doi:10.1016/j.gexplo.2014.08.001
- Inboonchuay, T., Suddhiprakarn, A., Kheoruenromne, I., Anusontpornperm, S., & Gilkes, R. J. (2015). Distribution and concentration of major and trace elements in paddy soils and rice plant of Khorat Basin, Northeast Thailand. *Thai Journal of Agricultural Science*, 48(3), 147-156.
- Javed, M. T., Saleem, M. H., Aslam, S., Rehman, M., Iqbal, N., Begum, R., Ali, S., Alsahli, A. A., Alyemeni, M. N., & Wijaya, L. (2020). Elucidating silicon-mediated distinct morpho-physio-biochemical attributes and organic acid exudation patterns of cadmium stressed Ajwain (*Trachyspermum ammi* L.). *Plant Physiology and Biochemistry*, 157, 23– 37. doi:10.1016/j.plaphy.2020.10.010
- Kingsawat, R., & Roachanakanan, R. (2011). Accumulation and distribution of some heavy metals in water, soil and rice fields along the Pradu and Phi Lok canals, Samut Songkhram Province, Thailand. *Environment and Natural Resources Journal*, 9(1), 38-48.
- Kukusamude, C. , & Kongsri, S. (2019). Cadmium concentration in Thai sticky rice and human health risk assessment. *Proceedings of the 7th Burapha University international conference on interdisciplinary research* (pp. 538-542). Chonburi: Burapha University.
- Plum, L. M., Rink, L., & Haase, H. (2010). The essential toxin: impact of zinc on human health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 7(4), 1342-1365. doi:10.3390/ijerph7041342
- Rehman, M., Liu, L., Wang, Q., Saleem, M. H., Bashir, S., Ullah, S., & Peng, D. (2019). Copper environmental toxicology, recent advances, and future outlook: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(18), 18003-18016. doi:10.1007/s11356-019-05073-6
- Reilly, C. (2002). *Metal contamination of food* (3rd ed.). Oxford: Blackwell Science Ltd.
- Rittirong, A., & Saenboonruang, K. (2018). Quantification of aluminum and heavy metal contents in cooked rice samples from Thailand markets using inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) and potential health risk assessment. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 30(5) , 372- 380. doi:10.9755/ejfa.2018.v30.i5.1680
- Ruiz, L. M., Libedinsky, A., & Elorza, A. A. (2021). Role of copper on mitochondrial function and metabolism. *Frontiers in Molecular Biosciences*, 8, 711227. doi:10.3389/fmolb.2021.711227
- Saleem, M. H., Kamran, M., Zhou, Y., Parveen, A., Rehman, M., Ahmar, S., Malik, Z., Mustafa, A., Anjum, R. M. A., & Wang, B. (2020). Appraising growth, oxidative stress and copper phytoextraction potential of flax (*Linum usitatissimum* L.) grown in soil differentially spiked with copper. *Journal of Environmental Management*, 257, 109994. doi:10.1016/j.jenvman.2019.109994
- Satachon, P., Keawmoon, S., Rengsungnoen, P., Thummajitsakul, S., & Silprasit, K. (2019). Source and health risk assessment of heavy metals in non-certified organic rice farming at Nakhon Nayok Province, Thailand. *Applied Environmental Research*, 41(3), 96-106.
- Sekara, A., Poniedzialek, M., Ciura, J., & Jedrzczyk, E. (2005). Cadmium and lead accumulation and distribution in the organs of nine crops: implications for phytoremediation. *Polish Journal of Environmental Studies*, 14(4), 509-516.
- Srinuttrakul, W., Permnamtip, V., & Yoshida, S. (2018). Heavy Metals in Sangyod rice samples cultivated in Phatthalung, Thailand. *Food and Applied Bioscience Journal*, 6(special issue on Food and Applied Bioscience), 45-54.
- Sungur, A., Soylak, M., Yilmaz, S., & Ozcan, H. (2016). Heavy metal mobility and potential availability in animal manure: using a sequential extraction procedure. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 18(3), 563-572. doi:10.1007/s10163-015-0352-4
- Uchida, S., Tagami, K., & Ishikawa, N. (2009). Concentration, soil-to-plant transfer factor and soil-soil solution

- distribution coefficient of selenium in the surface environment. *Proceedings of the Waste management symposium* (pp. 1- 5) . Arizona: Phoenix.
- United States Environmental Protection Agency (USEPA). (2007). *Method 3051A – microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils*. Accessed April 21, 2023. Retrieved from <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-12/documents/3051a.pdf>
- Waalkes, M. P. (2000). Cadmium carcinogenesis in review. *Journal of Inorganic Biochemistry*. 79(1-4), 241-244. doi:10.1016/s0162-0134(00)00009-x
- Zaheer, I. E., Ali, S., Saleem, M. H., Ali, M., Riaz, M., Javed, S., Sehar, A., Abbas, Z., Rizwan, M., El-Sheikh, M. A., & Alyemeni, M. N. (2020). Interactive role of zinc and iron lysine on *Spinacia oleracea* L. growth, photosynthesis and antioxidant capacity irrigated with tannery wastewater. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 26 , 2435 - 2452 . doi:10.1007/s12298-020-00912-0

Research article

Accumulation of heavy metals in rice cultivation areas, Buri Ram Province, Thailand

Nathsuda Pumijumnong Noppol Arunrat* and Sukanya Sereenonchai

Faculty of Environment and Resource Studies, Mahidol University, Phuttamonthon, Nakhon Pathom, 73170

ARTICLE INFO**Article history**

Received: 21 May 2023

Revised: 23 June 2023

Accepted: 23 June 2023

Online published: 27 June 2023

Keyword

Rice

Health risk

Buri Ram Province

Heavy metal

Thailand

ABSTRACT

Heavy metal contamination in rice paddy is a serious problem in many Asian countries. This study aimed to measure the concentrations of heavy metals (copper, manganese, zinc, lead, and cadmium) in rice-growing areas and assess the estimated daily intake (EDI) in Buri Ram Province. Soil samples (62 samples), water samples (57 samples), rice plant samples (62 samples), and rice grain samples (11 samples) were collected throughout Buri Ram Province. The heavy metal concentrations were determined using an Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS), and the Estimated Daily Intake (EDI) of heavy metals from commonly consumed rice samples in Buri Ram Province was calculated. The results showed significant differences in copper concentration between the irrigated areas and rain-fed areas, with values of 4.258 and 1.963 mg/kg, respectively. The highest concentration of manganese was found in the soil, and the lowest was found in the rice grains. The concentration of lead showed significant differences in soil between irrigated areas and rain-fed areas, with values of 30.85 and 42.794 mg/kg, respectively. However, in rice plants, the highest accumulation of lead was found to be 47.858 and 45.786 mg/kg in irrigated areas and rain-fed areas, respectively. The highest concentration of zinc was found in rice plants, with values of 21.958 and 23.203 mg/kg in irrigated areas and rain-fed areas, respectively. The concentration of cadmium was found to differ significantly between irrigated areas and rain-fed areas in water, with values of 0.0001 and 0.0011 mg/l, respectively. However, in rice grains, the highest accumulation of cadmium was found when compared to soil, water, and rice plants, with values of 0.119 and 0.114 mg/kg in the irrigated areas and rain-fed areas, respectively. Furthermore, based on the EDI assessment, it was found that the values did not exceed the recommended daily dietary allowances (RDI) except for lead, where the EDI value (0.39 mg/day/person) was higher than the RDI value (0.21 mg/day/person). The contamination of heavy metals in rice cultivation areas can arise from multiple sources. Therefore, testing for heavy metal concentrations in rice cultivation areas and regular monitoring of human health risks are necessary.

*Corresponding author

E-mail address: noppol.aru@mahidol.ac.th (N. Arunrat)

Online print: 27 June 2023 Copyright © 2023. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2023.17>