



การประเมินความเสี่ยงการรับสัมผัสสารโลหะหนัก ตะกั่ว แคดเมียม สารหนูจากการบริโภคข้าว อำเภอวัดสิงห์ จังหวัดชัยนาท

วันปิติ ธรรมศรี*, ปณิดา หงษ์เลิศ**, อมรกานต์ อินเงิน**, เอกราช รักชาราช** และนที อ่อนโณน**

Received: April 25, 2022

Revised: October 6, 2022

Accepted: October 9, 2022

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีจุดประสงค์เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณสารโลหะหนักกลุ่มตะกั่ว (Pb) แคดเมียม (Cd) และสารหนู (As) ที่ปนเปื้อนอยู่ในข้าว และประเมินความเสี่ยงจากการบริโภคข้าวที่ปนเปื้อนสารโลหะหนักของเกษตรกรผู้ปลูกข้าวและผู้บริโภคข้าว ประชากรที่ใช้ในการศึกษา คือ เกษตรกรหมู่บ้านดอนตาล ตำบลหนองน้อย อำเภอวัดสิงห์ จังหวัดชัยนาท จำนวน 30 คน ซึ่งบริโภคข้าวพันธุ์หอมปทุม จาก 2 แปลงนาตัวอย่าง แหล่งข้อมูลเก็บรวบรวมจากการสัมภาษณ์และแบบสอบถาม ผลการศึกษาพบการปนเปื้อนเฉพาะสารหนูในข้าว อย่างไรก็ตามเพื่อเป็นการประเมินโอกาสในการรับสัมผัสสารหนู ค่าความเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็ง (LCR) นำมาใช้คำนวณโดยการหาค่า EDI (รายบุคคล) ผลการประเมินความเสี่ยงจากการบริโภคข้าวที่มีการปนเปื้อนของสารหนู (EDI) ในกลุ่มประชากรทั้ง 30 คน พบว่ามีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 0.41 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม และมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 0.02349 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งไม่เกินค่ามาตรฐานการปนเปื้อนของสารหนูในข้าวที่มีค่าเท่ากับ 2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามมาตรฐานประเทศไทย แต่ค่าความเสี่ยงก่อมะเร็ง (LCR) ของกลุ่มประชากร มีค่าอยู่ที่ระหว่าง 0.00062–0.03542 ซึ่งมีค่าเกินกว่า 0.0001 ผลการประเมินนี้แสดงให้เห็นว่าระดับดังกล่าวไม่ปลอดภัยต่อผู้บริโภคข้าว

คำสำคัญ : ตะกั่ว / แคดเมียม / สารหนู / การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ

ผู้รับผิดชอบบทความ: ผู้ช่วยศาสตราจารย์วันปิติ ธรรมศรี, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสวนดุสิต, 228/1-3 ถนนสีรินธร เขตบางพลัด กรุงเทพมหานคร 10700, E-mail: wanpitithammasri@gmail.com

*วท.ม.(ทรัพยากรการเกษตรและสิ่งแวดล้อม) อาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตรอาชีวอนามัยและความปลอดภัย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสวนดุสิต

**วท.บ. (อาชีวอนามัยและความปลอดภัย) นักศึกษาหลักสูตรอาชีวอนามัยและความปลอดภัย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสวนดุสิต





Health risk assessment of lead, cadmium, arsenic from the consumption of rice in Watsing District, Chainat Province

Wanpiti Thammasri*, Panatda Honglert**, Amornkan Inngen**, Akekarat Raksarat** and Nathee Onaon**

Abstract

This research aims to analyze the quantity of heavy metals – lead, cadmium and arsenic which are contaminated in rice and to assess health risk from rice consumption contaminated with heavy metals for farmers and rice consumers. The populations involved in the study were 30 farmers in Don Tan, Nong Noi, Wat Sing, Chainat. They consumed Hom Pathum from two rice field samples which were cultivated in such area. Data sources were collected from interviews and questionnaires. The results showed that the contamination of arsenic in rice was detected. Nevertheless, to assess the arsenic exposure, the lifetime cancer risk (LCR) was calculated using the estimated daily intake (EDI) individually. Health risk assessment of rice which was contaminated with arsenic indicated that the minimum EDI was 0.41 $\mu\text{g/kg}$ and the maximum value was 0.02349 mg/kg. These values do not exceed the standard for arsenic contamination in Thai rice, which is 2 mg/kg. However, the LCR was between 0.00062 – 0.03542, which was over 0.0001. The assessment result reveals that this level is not safe for rice consumers.

Keywords: Lead / Cadmium / Arsenic / Health risk assessment

Corresponding Author: Assis.Prof. Wanpiti Thammasri, Occupational health and safety, Faculty of Science and Technology Suan dusit university, 228/1-3 Sirindhorn Road, Bang Phlat district, Bangkok 10700, E-mail: wanpitithammasri@gmail.com

*M.Sc. (Agricultural resources and environment), Lecturer, Occupational health and safety, Faculty of science and technology, Suan dusit university

**B.Sc. (Occupational health and safety), Student in Occupational health and safety, Faculty of science and technology, Suan dusit university





1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมพื้นที่ของประเทศไทยประมาณ 70 ล้านไร่เป็นพื้นที่นา โดยพื้นที่นาส่วนใหญ่กระจายอยู่ทั่วประเทศ ทั้งในและนอกเขตชลประทาน (นุชจรี ท้ายสนิท และปิยะดา วชิระวงศกร, 2021) แต่ปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมยังคงเป็นปัญหาต่อเนื่องมานานจากอดีตจนกระทั่งถึงปัจจุบัน การปนเปื้อนโลหะหนักในดินจากการทำเกษตรกรรมแบบใช้สารเคมีมักมีสาเหตุมาจากการเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจหลายประเภทในพื้นที่เดิม โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเพาะปลูกข้าว ซึ่งข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญต่อสังคมไทย เกษตรกรส่วนใหญ่มีการเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวบางส่วนไว้ใช้บริโภคในครัวเรือนนอกเหนือจากการจัดจำหน่าย ข้าวที่มีการใช้สารเคมีในกระบวนการเพาะปลูกจึงมีความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของโลหะหนักตามไปด้วย เช่น ตะกั่ว (Lead; Pb) แคดเมียม (Cadmium; Cd) และสารหนู (Arsenic; As) เนื่องจากข้าวจะสามารถดูดซับโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดินขึ้นมาสะสมยังส่วนต่าง ๆ ของต้นข้าวได้โดยเฉพาะเมล็ดที่ใช้บริโภค (ธนิภา น้อยถนอม และคณะ, 2562; ธนภัทร ปลื้มพวง และคณะ, 2558) หากเกษตรกรมีการนำข้าวมาบริโภคจึงมีโอกาสที่จะได้รับสารโลหะหนักเข้าไปสะสมอยู่ในร่างกายตามไปด้วย (Fanfu Zeng et al., 2015) จังหวัดชัยนาทเป็นจังหวัดหนึ่งของภาคกลางตอนบน ตั้งอยู่บริเวณริมฝั่งซ้ายของแม่น้ำเจ้าพระยามีพื้นที่ประมาณ 1,543,591 ไร่ ลักษณะภูมิประเทศโดยทั่วไปเป็นพื้นที่ราบลุ่มแม่น้ำจนถึงพื้นที่ลูกคลื่นลอนลาดมีแม่น้ำเจ้าพระยาแม่น้ำท่าจีน แม่น้ำน้อย ไหลผ่านพื้นที่ต่าง ๆ ทั่วทุกอำเภอ พื้นที่ส่วนใหญ่ของจังหวัดจึงเหมาะสำหรับการประกอบอาชีพทางด้านเกษตรกรรมและส่วนใหญ่มักนิยมปลูกทั้งข้าวนาปีและนาปรัง (ภัทราวดี วัฒนสุนทร และจินตนา ออมรวงสิน, 2559) หากแหล่งเพาะปลูกข้าวมีการปนเปื้อนของโลหะหนักย่อมส่งผลกระทบต่อโอกาสในการเคลื่อนที่และสะสมในส่วนต่าง ๆ ของข้าวที่ปลูกได้ รวมทั้งส่งผลกระทบต่อห่วงโซ่อาหาร และมนุษย์ที่บริโภคข้าวที่มีการปนเปื้อนของโลหะหนัก (นุชนาถ รังคดิกล และคณะ, 2562) โดยเฉพาะตะกั่ว แคดเมียม และสารหนู สารทั้ง 3 ชนิดนี้มีความคงตัวไม่สลายตัวตามกระบวนการทางธรรมชาติ (ธีรนาถ สุวรรณเรือง, 2563) หากร่างกายได้รับสะสมเป็นเวลานานจะก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพร่างกาย สำหรับปริมาณการสะสมของตะกั่วในดินประเทศไทย มีค่าระหว่าง 18.08-33.95 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนแคดเมียมในดิน มีค่าระหว่าง 0.46-218 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับสารหนูในดิน มีค่าระหว่าง 22.46-380.10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (กัญญกุลณัช คำปวง และคณะ, 2559; เกวลิน รอดขวัญ และคณะ, 2563) สารตะกั่วเป็นโลหะหนักที่มีความเป็นพิษและเป็นธาตุที่ไม่จำเป็นต่อร่างกาย เมื่อเข้าสู่ร่างกายจะกระจายอยู่ในกระแสเลือดสะสมในตับและไต หากได้รับพิษแบบเฉียบพลัน จะมีอาการคลื่นไส้ อาเจียน ท้องเสียอย่างรุนแรง และมีอาการทางสมอง เช่น ชักและหมดสติ (สายชล สุขญาณกิจ และธนวรรณ พาณิพัฒน์, 2556) แคดเมียมเป็นโลหะหนักที่มีความเป็นพิษและจัดเป็นสารอนินทรีย์จึงไม่สามารถถูกย่อยสลายได้โดยปฏิกิริยาเคมีและการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ (เบญจภรณ์ ประภักดี และจิรวิฐ์ แสงทอง, 2559) ซึ่งแคดเมียมเมื่อเข้าสู่ร่างกายแล้วจะถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสโลหิตโดยจะไปจับกับแกมมาโกลบูลิน (gamma-globulin) และมีแคดเมียมบางส่วนไปจับกับฮีโมโกลบิน หรือเมทัลโลไธโอนิน (metallothionein) ในเม็ดเลือดแดง โดยแคดเมียมส่วนใหญ่จะไปสะสมอยู่ในไตและบางส่วนไปสะสมที่ตับอ่อนและต่อมไทรอยด์ มีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่จะถูกขับถ่ายออกทางปัสสาวะ (ปิยะดา วชิระวงศกร และคณะ, 2558) หากมนุษย์ได้รับแคดเมียมเข้าสู่ร่างกายในปริมาณมากเกินไปจะทำให้เกิดความผิดปกติของระบบการทำงานของไต และเกิดการสะสมสารพิษในส่วนอื่นๆ ของร่างกายด้วย (กัญญกุลณัช คำปวง และคณะ, 2559) โดยความสัมพันธ์ของดิน พืช และมนุษย์ เป็นการเชื่อมโยงในการได้รับแคดเมียมต่อมนุษย์ ซึ่งการเพิ่มการปนเปื้อนของแคดเมียมในดินสามารถเพิ่มความเสี่ยงต่อการได้รับสู่ร่างกายมนุษย์มากขึ้น (เบญจภรณ์ ประภักดี และจิรวิฐ์ แสงทอง, 2559) ส่วนสารหนูที่สะสมในดินสามารถไล่เลียงผ่านราก ใบ และเมล็ดข้าวได้ โดยสารหนูอนินทรีย์ (Arsenite) ส่วนใหญ่จะไล่เลียงผ่านระบบท่ออาหาร ส่วนสารหนูอินทรีย์ (Dimethyl arsenic acid) จะไล่เลียงผ่านทั้งท่อน้ำและท่ออาหาร การไล่เลียงที่แตกต่างกันส่งผลต่อการสะสมของเมล็ดข้าวที่ต่างกัน (ลำโย



ณิรัตน์พันธุ์ และคณะ, 2558) เช่น สารหนูเมื่อเข้าสู่ร่างกายจะเข้าไปสู่ระบบการไหลเวียนของเลือดจะมีผลต่อน้ำย่อยที่ช่วยเผาผลาญอาหาร ทำให้หน้าที่การทำงานเสียไป เกิดการเบื่ออาหาร ปลายประสาทอักเสบ แขนขาชา และเป็นอัมพาตได้ (กองโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม, 2562) ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะทำการศึกษาการประเมินความเสี่ยงการรับสัมผัสสารโลหะหนักตะกั่ว แคดเมียม สารหนูจากการบริโภคข้าวของอำเภอวัดสิงห์จังหวัดชัยนาท เนื่องจากมีรายงานพบว่าพื้นที่เพาะปลูกข้าวของอำเภอวัดสิงห์จังหวัดชัยนาทมีการปนเปื้อนของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่สูงกว่าค่ามาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษกำหนด (ภัทราวดี วัฒนสุนทร และจินตนา อมรสงวนสิน, 2559) อีกทั้งยังเป็นการเฝ้าระวังความเสี่ยงต่อสุขภาพของเกษตรกรและผู้บริโภคข้าวจากพื้นที่ดังกล่าวด้วย

2. วัตถุประสงค์

เพื่อประเมินการรับสัมผัสและความเสี่ยงจากการบริโภคข้าวที่ปนเปื้อนสารโลหะหนักตะกั่ว แคดเมียม และสารหนู ของเกษตรกรผู้ปลูกข้าวในอำเภอวัดสิงห์จังหวัดชัยนาท

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 เครื่องมือวิจัย

3.1.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือ แบบสอบถาม แบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 เป็นแบบสอบถามข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม เช่น เพศ อายุ น้ำหนัก และส่วนที่ 2 เป็นแบบสอบถามข้อมูลการบริโภคข้าวของเกษตรกร เช่น ปริมาณการรับประทานข้าว (กรัมต่อวัน) และความถี่ในการบริโภคข้าว (จำนวนมื้อต่อวัน) โดยมีการตรวจสอบความตรงของเครื่องมือ (IOC) จากผู้ทรงคุณวุฒิ จำนวน 3 ท่าน

3.1.1 เครื่องมือในการวิเคราะห์โลหะหนักตะกั่ว แคดเมียม และสารหนู คือ เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

3.2 การดำเนินการวิจัย

3.2.1 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา คือ เกษตรที่บริโภคข้าวจากแปลงนาจำนวน 2 แปลง แปลงละ 15 คน รวมเป็นจำนวน 30 คน โดยสุ่มแบบเจาะจง (Purposive Sampling) เลือกเกษตรกรผู้ปลูกข้าวและบริโภคข้าวที่ปลูกเองพันธุ์ข้าวหอมปทุม (ปทุมธานี 1) ในชุมชนหมู่บ้านดอนตาล อำเภอวัดสิงห์ จังหวัดชัยนาท เพื่อประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการได้รับสารโลหะหนักในข้าว (เกษตรกรที่บริโภคข้าวเป็นเกษตรกรกลุ่มเดียวกับเกษตรกรผู้ปลูกข้าวในพื้นที่)

3.2.2 ขอบเขตในการศึกษาวิจัย คือ การศึกษาในพื้นที่เพาะปลูกข้าวของเกษตรกร ในหมู่บ้านดอนตาล อำเภอวัดสิงห์ จังหวัดชัยนาท

3.2.3 การสุ่มเก็บกลุ่มตัวอย่างข้าวเพื่อหาปริมาณสารโลหะหนักตะกั่ว แคดเมียม และสารหนูในข้าว ใช้วิธีการสุ่มแบบกระจายในพื้นที่แปลงนาทั้ง 2 แปลงให้ทั่ว เว้นช่วงห่างให้พอดีและทั่วแปลงนา โดยสุ่มเก็บตัวอย่างข้าวในระยะเจริญเติบโตเต็มที่อายุประมาณ 100 วัน ช่วงเดือนกรกฎาคม (นาปรัง) จำนวนแปลงละ 3 ตัวอย่าง ทั้งนี้คณะผู้วิจัยได้นำเมล็ดข้าวเปลือกที่สุ่มเก็บมาได้ไปผ่านกระบวนการสีข้าวจากโรงสีข้าวของชุมชนเพื่อให้ได้ข้าวสารตรงตามการบริโภคของเกษตรกร แล้วจึงนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS

3.2.4 การสุ่มเก็บกลุ่มตัวอย่างดินเพื่อหาปริมาณสารโลหะหนักตะกั่ว แคดเมียม และสารหนู ใช้วิธีการสุ่มเก็บแบบกระจายในพื้นที่แปลงนาทั้ง 2 แปลงให้ทั่ว เว้นช่วงห่างให้พอดีและทั่วแปลงนา เก็บดินโดยใช้เสียมขุดดินลึกประมาณ 15 เซนติเมตร แล้วนำดินที่เก็บมาคลุกเคล้าให้เข้ากัน แบ่งดินที่คลุกเคล้าแบ่งเป็น 4 ส่วน นำตัวอย่างดิน 1 ส่วน ใส่ถุงพลาสติกเพื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS โดยมีการทดสอบช่วงการวิเคราะห์และความเป็นเส้นตรงโดยฉีดสารละลายแปลงกึ่งและสารละลายมาตรฐานตะกั่วความเข้มข้น 5, 10, 15, 20, 25



มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนสารละลายแคดเมียมความเข้มข้น 2, 4, 6, 8, 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และสารละลายมาตรฐานสารหนูความเข้มข้น 0.5, 1.0, 1.5, 2, 2.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เพื่อสร้างกราฟมาตรฐานของแต่ละธาตุแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับ absorbance คำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (r) เพื่อศึกษาความเป็นเส้นตรง โดยมีค่า r เท่ากับ 0.998, 0.999, 0.999 ตามลำดับ

3.2.5 การวิเคราะห์ข้อมูลใช้วิธีการประเมินการรับสัมผัสสารพิษ (Estimated daily intake) จากระดับความเข้มข้นของโลหะหนักที่ปนเปื้อนในข้าวจากการบริโภค และค่าความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งจากการบริโภคข้าวที่ปนเปื้อนโลหะหนัก ตามสูตรสมการที่ 1-2 (Noelle Liao et. al., 2018) ดังนี้

สมการที่ 1 การหาการรับสัมผัสสารพิษ (Estimated daily intake; EDI)

$$EDI_{\text{(รายบุคคล)}} = \frac{AC \times ADC}{BW_{\text{(รายบุคคล)}}}$$

โดยที่

EDI _(รายบุคคล)	คือ การรับสัมผัสสารพิษ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน)
AC	คือ ความเข้มข้นของโลหะหนัก (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
ADC	คือ อัตราการบริโภคข้าวต่อวัน (กิโลกรัมต่อวัน) โดยใช้ข้อมูลจากแบบสอบถาม
BW	คือ น้ำหนักตัวรายบุคคล (กิโลกรัม) โดยใช้ข้อมูลจากแบบสอบถาม

ตัวอย่างเช่น $EDI_{\text{(เกษตรกรคนที่ 1)}} = \frac{0.138 \text{ mg/kg} \times 0.6 \text{ กิโลกรัมต่อวัน}}{49 \text{ กิโลกรัม}}$

$$= 1.69 \times 10^{-3} \text{ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน}$$

สมการที่ 2 การหาความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง (Lifetime Cancer Risk; LCR)

$$LCR = EDI \times SF$$

โดยที่

LCR	คือ ความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง
EDI _(รายบุคคล)	คือ การรับสัมผัสสารพิษ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน)
SF	คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความชันในการก่อให้เกิดมะเร็ง (Slope Factor) โดยสารหนูเท่ากับ 1.5

ตัวอย่างเช่น $LCR_{\text{(เกษตรกรคนที่ 1)}} = 1.69 \times 10^{-3} \text{ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน} \times 1.5$
 $= 2.53 \times 10^{-3}$

3.3 ข้อพิจารณาด้านจริยธรรมในการวิจัย

การดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ได้ผ่านการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ ของมหาวิทยาลัยสวนดุสิต เอกสารการรับรองเลขที่ SDU-RDI 2020-022 วันที่รับรอง 20 พฤษภาคม 2563-20 พฤษภาคม 2564





4. ผลการวิจัย

จากการสำรวจพื้นที่เพาะปลูกข้าวของเกษตรกรจำนวน 2 แปลงในหมู่บ้านดอนตาล อำเภอวัดสิงห์ จังหวัดชัยนาท และดำเนินการสุ่มเก็บตัวอย่างดินรวมทั้งตัวอย่างข้าวพันธุ์ข้าวหอมปทุม (ปทุมธานี 1) ในระยะเจริญเติบโตเต็มที่อายุประมาณ 100 วัน เพื่อนำไปศึกษาการปนเปื้อนของโลหะหนักตะกั่ว แคดเมียม และสารหนู ในดินและข้าวจากแปลงนาของเกษตรกร ผลการศึกษาพบว่า ดินจากนาข้าวแปลงที่ 1 มีการปนเปื้อนของสารหนูเฉลี่ยเท่ากับ 5.168 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปนเปื้อนตะกั่ว เฉลี่ยเท่ากับ 21.30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนแคดเมียมไม่พบการปนเปื้อน และดินจากนาข้าวแปลงที่ 2 มีการปนเปื้อนของสารหนู เฉลี่ยเท่ากับ 6.345 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปนเปื้อนตะกั่ว เฉลี่ยเท่ากับ 15.10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนแคดเมียมไม่พบการปนเปื้อนเช่นเดียวกัน ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การปนเปื้อนของโลหะหนักในดิน

ค่าเฉลี่ยของโลหะหนักในดิน แปลงที่ 1 (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)		ค่าเฉลี่ยของโลหะหนักในดิน แปลงที่ 2 (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	
ตะกั่ว	21.30	ตะกั่ว	15.10
แคดเมียม	<0.004*	แคดเมียม	<0.004*
สารหนู	5.168	สารหนู	6.345

หมายเหตุ: *พบปริมาณน้อยมากเนื่องจากมีค่าต่ำกว่าขีดจำกัดของการตรวจวัด (Limit of detection, LOD)

จากข้อมูลดังกล่าวหากนำมาพิจารณาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพดินตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (พ.ศ. 2564) สำหรับดินที่ใช้เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม พบว่า การปนเปื้อนของสารหนูในแปลงนาทั้ง 2 มีค่ามากกว่ามาตรฐานที่กำหนด โดยค่ามาตรฐานกำหนดไว้ว่าสารหนูต้องไม่เกิน 6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนการปนเปื้อนของตะกั่วในแปลงนาทั้ง 2 มีค่าน้อยกว่ามาตรฐานที่กำหนด โดยค่ามาตรฐานกำหนดไว้ว่าตะกั่วต้องไม่เกิน 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

จากการศึกษาข้อมูลทั่วไปของเกษตรกร พบว่า เกษตรกรเป็นเพศชาย จำนวน 11 คน คิดเป็นร้อยละ 36.67 เพศหญิง จำนวน 19 คน คิดเป็นร้อยละ 63.33 มีอายุอยู่ระหว่าง 51-60 ปี จำนวน 12 คน คิดเป็นร้อยละ 40 รองลงมาคืออายุระหว่าง 61-70 จำนวน 8 คน คิดเป็นร้อยละ 26.66 น้ำหนักตัวอยู่ระหว่าง 51-60 กิโลกรัม จำนวน 10 คน คิดเป็นร้อยละ 33.33 รองลงมาคือน้ำหนักตัวต่ำกว่า 50 กิโลกรัม จำนวน 8 คน คิดเป็นร้อยละ 26.67 ดังตารางที่ 2 และจากการศึกษาอัตราการบริโภคข้าวของเกษตรกร พบว่า อัตราการบริโภคข้าวจากนาข้าวแปลงที่ 1 ของเกษตรกรจำนวน 15 คนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.55 กิโลกรัมต่อวัน และอัตราการบริโภคข้าวจากนาข้าวแปลงที่ 2 ของเกษตรกรจำนวน 15 คนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.57 กิโลกรัมต่อวัน

ตารางที่ 2 ข้อมูลทั่วไปของเกษตรกร

ข้อมูล	จำนวน (คน)	ร้อยละ
เพศชาย	11	36.67
เพศหญิง	19	63.33
อายุ 31 – 40 ปี	2	6.67
อายุ 41 – 50 ปี	5	16.67
อายุ 51 – 60 ปี	12	40.00



ตารางที่ 2 ข้อมูลทั่วไปของเกษตรกร (ต่อ)

ข้อมูล	จำนวน (คน)	ร้อยละ
อายุ 61 – 70 ปี	8	26.67
อายุ 71 – 80 ปี	3	10.00
น้ำหนักต่ำกว่า 50 กิโลกรัม	8	26.67
น้ำหนัก 51 - 60 กิโลกรัม	10	33.33
น้ำหนัก 61 - 70 กิโลกรัม	6	20.00
น้ำหนัก 71 กิโลกรัมขึ้นไป	6	20.00

จากการศึกษาการปนเปื้อนของโลหะหนักตะกั่ว แคดเมียม และสารหนูในข้าวจากแปลงนาของเกษตรกร พบว่า ข้าวจากแปลงที่ 1 พบปริมาณการปนเปื้อนน้อยมากของตะกั่ว แคดเมียม และสารหนู ส่วนข้าวจากแปลงที่ 2 พบการปนเปื้อนของสารหนู เฉลี่ยเท่ากับ 0.138 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนตะกั่วและแคดเมียมพบการปนเปื้อนน้อยมากโดยมีค่าต่ำกว่าขีดจำกัดของการตรวจวัด (Limit of detection, LOD) ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การปนเปื้อนของโลหะหนักในข้าว

ค่าเฉลี่ยของโลหะหนักในข้าวแปลงที่ 1 (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)		ค่าเฉลี่ยของโลหะหนักในข้าวแปลงที่ 2 (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	
ตะกั่ว	<0.05*	ตะกั่ว	<0.05*
แคดเมียม	<0.004*	แคดเมียม	<0.004*
สารหนู	<0.05*	สารหนู	0.138

หมายเหตุ: *พบปริมาณน้อยมากเนื่องจากมีค่าต่ำกว่าขีดจำกัดของการตรวจวัด (Limit of detection, LOD)

จากข้อมูลดังกล่าวหากนำมาพิจารณาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานการปนเปื้อนของโลหะหนักในประเทศ ไทยตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 414 พ.ศ. 2563 พบว่า ค่าเฉลี่ยของปริมาณสารหนูที่ปนเปื้อนใน ข้าวสารมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนด โดยค่ามาตรฐานกำหนดไว้ว่าสารหนูต้องไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าค่าการปนเปื้อนของสารหนูในข้าวจากแปลงนาที่ 2 ของเกษตรกรจะมีค่าต่ำกว่า มาตรฐานที่กำหนด แต่เพื่อเป็นการประเมินโอกาสในการสัมผัสสารหนู (EDI) และประเมินความเสี่ยงต่อการ เกิดโรคมะเร็ง (LCR) ในระยะยาวจากการได้รับสารหนูจากการบริโภคข้าวที่มีสารปนเปื้อนเป็นรายบุคคล คณะ ผู้วิจัยจึงได้นำข้อมูลจากตารางที่ 3 ดังกล่าวมาคำนวณดังสมการที่ 1 และ 2 ซึ่งให้ผลดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การประเมินการสัมผัสสารหนู (EDI) และประเมินความเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็ง (LCR) จากการบริโภคข้าวที่มีการปนเปื้อนสารหนู (รายบุคคล) ในแปลงที่ 2

เกษตรกร คนที่	ค่า EDI (รายบุคคล) (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน)	ค่า LCR	ผลการประเมินความเสี่ยง ต่อสุขภาพ
1	1.69×10^{-3}	2.53×10^{-3}	ไม่ปลอดภัย
2	1.40×10^{-3}	2.11×10^{-3}	ไม่ปลอดภัย
3	1.02×10^{-3}	1.53×10^{-3}	ไม่ปลอดภัย
4	1.04×10^{-3}	1.55×10^{-3}	ไม่ปลอดภัย



ตารางที่ 4 การประเมินการรับสัมผัสสารหนู (EDI) และประเมินความเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็ง (LCR) จากการบริโภคข้าวที่มีการปนเปื้อนสารหนู (รายบุคคล) ในแปลงที่ 2 (ต่อ)

เกษตรกร คนที่	ค่า EDI (รายบุคคล) (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน)	ค่า LCR	ผลการประเมินความเสี่ยง ต่อสุขภาพ
5	8.30×10^{-4}	1.24×10^{-3}	ไม่ปลอดภัย
6	2.07×10^{-3}	3.11×10^{-3}	ไม่ปลอดภัย
7	1.66×10^{-3}	2.48×10^{-3}	ไม่ปลอดภัย
8	1.62×10^{-3}	2.44×10^{-3}	ไม่ปลอดภัย
9	2.02×10^{-3}	3.30×10^{-3}	ไม่ปลอดภัย
10	1.43×10^{-4}	2.14×10^{-3}	ไม่ปลอดภัย
11	4.10×10^{-4}	6.20×10^{-4}	ไม่ปลอดภัย
12	1.66×10^{-3}	2.48×10^{-3}	ไม่ปลอดภัย
13	6.40×10^{-4}	9.60×10^{-4}	ไม่ปลอดภัย
14	1.51×10^{-3}	2.26×10^{-3}	ไม่ปลอดภัย
15	1.76×10^{-3}	2.64×10^{-3}	ไม่ปลอดภัย

จากข้อมูลดังกล่าวพบว่า การประเมินความเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งจากการบริโภคข้าวที่ปนเปื้อนสารหนู (LCR) ของเกษตรกรที่บริโภคข้าวจากแปลงนาที่ 2 มีค่าอยู่ระหว่าง 9.60×10^{-4} ถึง 3.30×10^{-3} เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความปลอดภัยจากความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง หากค่า LCR มีค่ามากกว่า 0.0001 หรือ 1×10^{-4} (Noelle Liao et. al., 2018) นั้นแสดงถึงระดับความเสี่ยงต่อร่างกายอยู่ในระดับที่ไม่ปลอดภัยต่อผู้บริโภค

5. อภิปรายผล

จากการศึกษาการปนเปื้อนของโลหะหนักตะกั่ว แคดเมียม และสารหนูในดินจากแปลงนาของเกษตรกรในหมู่บ้านดอนตาล อำเภอดงสิงห์ จังหวัดชัยนาท พบว่า สารหนูมีปริมาณการปนเปื้อนเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 5.168 ถึง 6.345 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งมากกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด และตะกั่วมีปริมาณการปนเปื้อนเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 21.30 ถึง 15.10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งน้อยกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด แสดงให้เห็นว่าการใช้สารเคมีในการเพาะปลูกข้าวของเกษตรกรเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดปัญหามลพิษต่อสิ่งแวดล้อมทางดินได้ เนื่องจากดินเป็นแหล่งรองรับสารเคมีโดยตรง (ภัทรวดี วัฒนสุนทร และจินตนา อมรสงวนสิน, 2559) และจากการศึกษาครั้งนี้ การปนเปื้อนโลหะหนักตะกั่ว แคดเมียม และสารหนูในข้าวของเกษตรกรพบว่า มีการปนเปื้อนของสารหนูในเมล็ดข้าวเฉลี่ยเท่ากับ 0.138 สำหรับตะกั่วและแคดเมียมไม่พบการปนเปื้อน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการสะสมของสารหนูในดินสามารถลำเลียงมายังเมล็ดข้าวได้ โดยสอดคล้องกับการศึกษาของลำไย ณีรัตน์พันธุ์ และคณะ (2558) ที่กล่าวว่า สารหนูที่สะสมในดินสามารถลำเลียงผ่านราก ใบ และเมล็ดข้าวได้ โดยสารหนูอนินทรีย์ (Arsenite) ส่วนใหญ่จะลำเลียงผ่านระบบท่ออาหาร ส่วนสารหนูอินทรีย์ (Dimethyl arsenic acid) จะลำเลียงผ่านทั้งท่อน้ำและท่ออาหาร การลำเลียงที่แตกต่างกันส่งผลต่อการสะสมของเมล็ดข้าวที่ต่างกันด้วย ซึ่งสารหนูอนินทรีย์จะสะสมในเมล็ดข้าว ส่วนสารหนูอินทรีย์พบมากในแกลบและรำข้าว หากเปรียบเทียบในด้านความเป็นพิษสารหนู อนินทรีย์มีความเป็นพิษมากกว่าสารหนูอินทรีย์ อย่างไรก็ตามจากการศึกษาครั้งนี้แม้สารหนูที่ทำการศึกษาก่อนจะอยู่ในรูปสารหนูรวม (Total arsenic) แต่ปริมาณที่พบในข้าวสารที่ผ่านกระบวนการสีจากข้าวเปลือก แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการดูดซับสารหนูจากดินเข้าสู่เมล็ดข้าว ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Otero et al. (2016)



ที่พบว่า ปริมาณสารหนูรวมที่สะสมในดินเพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้สารหนูรวมในเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้นได้ ดังจะเห็นได้จากผลการประเมินความเสี่ยงในการสัมผัสสารหนูจากการบริโภคข้าวของเกษตรกรทั้ง 15 คน มีค่าอยู่ระหว่าง 9.60×10^{-4} ถึง 3.30×10^{-3} ซึ่งอยู่ในระดับที่ไม่ปลอดภัยต่อเกษตรกร เนื่องจากค่าความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง (LCR) มีค่ามากกว่า 0.0001 หรือ 1×10^{-4} (Noelle Liao et. al., 2018) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Pemradee C. & Kyoung W.K. (2019) ที่พบว่า ความเสี่ยงจากการบริโภคข้าวที่ปนเปื้อนสารหนูของผู้บริโภคในภาคเหนือของประเทศไทย มีค่าอยู่ระหว่าง 1×10^{-4} ถึง 2×10^{-3} ซึ่งมีความเสี่ยงต่อการบริโภค นอกจากนั้นการที่เกษตรกรบริโภคข้าวอย่างต่อเนื่องเป็นอาหารหลักทุกวันอาจก่อให้เกิดการสะสมของสารหนูในร่างกายเพิ่มมากขึ้นได้ ดังรายงานของลำไย นิธิรัตนพันธุ์ และคณะ (2558) ที่กล่าวว่า สารหนูทุกรูปแบบเป็นโลหะหนักที่มีพิษต่อระบบของร่างกาย

6. ข้อเสนอแนะ

จากการสุ่มเก็บตัวอย่างดินและข้าวเปลือกมาผ่านกระบวนการสีข้าว จำนวน 2 แปลง แล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณการปนเปื้อนของสารโลหะหนัก 3 ชนิด ได้แก่ ตะกั่ว แคดเมียม และสารหนู ในพื้นที่นาของเกษตรกรในหมู่บ้านดอนตาล อำเภอวัดสิงห์ จังหวัดชัยนาท พบว่า ดินจากนาข้าวแปลงที่ 1 พบการปนเปื้อนของสารหนูเฉลี่ยเท่ากับ 5.168 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตะกั่ว เฉลี่ยเท่ากับ 21.30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนแคดเมียมพบปริมาณน้อยมากเนื่องจากมีค่าต่ำกว่าขีดจำกัดของการตรวจวัด (Limit of detection, LOD) และดินจากนาข้าวแปลงที่ 2 มีการปนเปื้อนของสารหนู เฉลี่ยเท่ากับ 6.345 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตะกั่ว เฉลี่ยเท่ากับ 15.10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนแคดเมียมพบปริมาณน้อยมากเนื่องจากมีค่าต่ำกว่าขีดจำกัดของการตรวจวัดเช่นเดียวกัน หากนำมาพิจารณาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพดินการปนเปื้อนของสารหนูในแปลงนาทั้ง 2 มีค่ามากกว่ามาตรฐานที่กำหนด ส่วนตะกั่วทั้ง 2 แปลงมีค่าน้อยกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด

สำหรับปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนักในข้าว พบว่า ข้าวจากแปลงที่ 1 พบปริมาณน้อยมากเนื่องจากมีค่าต่ำกว่าขีดจำกัดของการตรวจวัด ส่วนการปนเปื้อนของตะกั่ว แคดเมียม และสารหนู ส่วนข้าวจากแปลงที่ 2 พบการปนเปื้อนของสารหนู เฉลี่ยเท่ากับ 0.138 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนตะกั่วและแคดเมียมพบการปนเปื้อนน้อยมากเช่นเดียวกัน หากนำมาพิจารณาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานการปนเปื้อนของโลหะหนักในข้าวสาร มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนด คือ ไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม อย่างไรก็ตามเพื่อเป็นการประเมินโอกาสในการสัมผัสสารหนู คณะผู้วิจัยได้นำข้อมูลมาคำนวณหาค่า EDI (รายบุคคล) และค่าความเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็ง (LCR) ซึ่งพบว่า การประเมินความเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งจากการบริโภคข้าวที่ปนเปื้อนสารหนูของเกษตรกรที่บริโภคข้าวจากแปลงนาที่ 2 มีค่าอยู่ระหว่าง 9.60×10^{-4} ถึง 3.30×10^{-3} ซึ่งผลการประเมินอยู่ในระดับที่ไม่ปลอดภัยต่อผู้บริโภค ทั้งนี้ข้อมูลดังกล่าวบ่งบอกถึงความเสี่ยงต่อสุขภาพของเกษตรกร ดังนั้นเพื่อเป็นแนวทางในการเฝ้าระวังความเสี่ยงที่จะเกิดความเสียหายแก่เกษตรกร คณะผู้วิจัยจึงได้แนะนำให้เกษตรกรลดปริมาณการใช้สารเคมีกำจัดวัชพืช สารป้องกันกำจัดแมลง และสารเบื่อหนูในนาข้าวให้มากที่สุด หรือปรับเปลี่ยนรูปแบบการเพาะปลูกข้าวตามแนวทางเกษตรปลอดภัย เพื่อลดปัญหาการสะสมของสารหนูในข้าวที่อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยผู้บริโภคได้ในอนาคต

สำหรับข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป ควรดำเนินการศึกษาโลหะหนักที่สะสมบริเวณพื้นที่ทำการเกษตรชนิดอื่น ๆ การใช้น้ำจากแหล่งน้ำประเภทต่าง ๆ รวมถึงต้นเหตุการใช้สารเคมีที่เกี่ยวข้องของเกษตรกร เพื่อหาแนวทางส่งเสริมให้เกษตรกรลดการใช้สารเคมี และศึกษาปริมาณโลหะหนักในพืชผลการเกษตรชนิดต่าง ๆ





7. เอกสารอ้างอิง

- กองโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม. (2562). ความรู้เรื่องโรค. กรมควบคุมโรค.
<http://envocc.ddc.moph.go.th/>
- กัญญ์กุลณัช คำปวง, พลยุทธ ศุขสมิต, สมชัย ลาภอนันต์นพคุณ, ยุทธดนัย ยอดทองดี, และ ชนากานต์ เทโบลต์
 พรหมอุทัย. (2559). การตอบสนองของผลผลิตในข้าว 3 พันธุ์ที่ปลูกในดินที่มีปริมาณแคดเมียมแตกต่างกัน.
แก่นเกษตร, 44(3), 409-416.
- เกวลิน รอดขวัญ, วัชรวิทย์ รวยรื่น, และ นรนนท์ ขำมณี. (2563). การปนเปื้อนของโลหะหนักในตะกอนดินบริเวณ
 พื้นที่เพาะเลี้ยงหอยแครงและปากแม่น้ำท่าทอง อ่าวบ้านดอน จังหวัดสุราษฎร์ธานี. *วารสารวิชาการ
 วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 1(2), 41-57.
- ธนิภา น้อยถนอม, จินตนาถ วงศ์สวัสดิ์, และ ธนวรรณ พาณิชพัฒน์. (2562). การกำจัดตะกั่วที่สะสมในต้นข้าว.
วารสารวิทยาศาสตร์ มช., 47(3), 498-507.
- เบญจภรณ์ ประภักดี และจิรวิษฐ์ แสงทอง. (2559). แนวทางการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนแคดเมียมด้วยวิธีที่เป็นมิตร
 ต่อสิ่งแวดล้อมจากขุดทดลองสู่พื้นที่จริง. *วารสารสิ่งแวดล้อม*, 20(1), 1-13.
- ประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 414 พ.ศ. 2563. ออกตามความในพระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2522
 เรื่อง มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน. (2563, 20 พฤษภาคม). *ราชกิจจานุเบกษา*. เล่ม 137 ตอนพิเศษ
 118 ง.
- ปิยะดา วชิระวงศกร, สิริรัตน์ รอดขาว, และ เจนจิรา ช่วยปุ่น. (2558). การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ
 จากการบริโภคผักประเภทใบที่มีการปนเปื้อนสารตะกั่วและแคดเมียม: กรณีศึกษาเขตภาคเหนือ
 ตอนล่างของประเทศไทย. *Rajabhat J. Sci. Humanit. Soc. Sci.*, 16(2), 167-177.
- ธนภัทร ปลื้มพวง, จันทร์จรัส วีรสาร, อรุณศิริ กำลัง, และ ธงชัย มาลา. (2558). การปนเปื้อนแคดเมียมในดิน
 และการสะสมในผลผลิตข้าวบนพื้นที่ตำบลแม่ตาและตำบลพระธาตุผาแดงอำเภอแม่สอดจังหวัดตาก.
วารสารเกษตรพระวรุณ, 12(1), 1-8.
- ธีรนาถ สุวรรณเรือง. (2563). โลหะหนักปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมและผลกระทบต่อสุขภาพ. *วารสารวิจัยและ
 พัฒนาระบบสุขภาพ*, 13(1), 76-82.
- นุชจรี ท้ายสนิท และปิยะดา วชิระวงศกร. (2021). การประเมินการปนเปื้อนโลหะหนักบางชนิดในดินนาข้าว
 ของจังหวัดสุโขทัย. *PSRU Journal of Science and Technology*, 6(1), 99-108.
- นุชนาถ รังคดิถ, สุมลธา หนูคาบแก้ว, และ จุฑามาศ สัตยวิวัฒน์. (2562). งานวิจัยสารหนูในข้าวไทยเพื่อรองรับ
 การกำหนดค่าสูงสุดของสารหนูในข้าวเพื่อการส่งออกข้าวไทย. *วารสารวิชาการข้าว*, 10(2), 101-116.
- ภัทราวดี วัฒนสุนทร และจินตนา อมรสงวนสิน. (2559). การตรวจวิเคราะห์การตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืช
 และสัตว์ในตัวอย่างดินจากนาข้าวในพื้นที่จังหวัดชัยนาท. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์*,
 11(2), 246-258.
- ลำไย นิรัตน์พันธุ์, สมศักดิ์ อินทมาต, Arthone Khammanichanh, และ มานพ ศรีอุทธา. (2558). ปริมาณ
 สารหนูในข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 บริเวณเหมืองแร่ทองคำ. *วารสารวิทยาศาสตร์คสส*, 37(2), 11-25.
- สายชล สุขญาณกิจ และธนวรรณ พาณิชพัฒน์. (2556). เปรียบเทียบการเจริญเติบโตและการสะสมตะกั่วของ
 ทานตะวันและข้าวฟ่างในดินที่ปนเปื้อนตะกั่ว. *วารสารวิทยาศาสตร์ มช.*, 41(4), 996-1007.
- Fanfu Z., Wei W., Mansha L., Ruixue H., Fei Y., & Yanying D.. (2015). Heavy Metal Contamination
 in Rice-Producing Soils of Hunan Province, China and Potential Health Risks. *International
 Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(12), 15584-15593.
<https://doi.org/10.3390/ijerph121215005>





- Noelle L., Edmund S., Brenda E., May W., Yan L., & Jenna H.. (2018). A comprehensive review of arsenic exposure and risk from rice and a risk assessment among a cohort of adolescents in Kunming, China. *International journal of environmental research and public health*, 15, 2191.
- Otero X. L., Tierra W., Atiaga O., Guanoluisa D., Nunes L. M., Ferreira T.O., & Ruales J. (2016). Arsenic in rice agrosystems (water, soil and rice plants) in Guayas and Los Ríos Provinces, Ecuador. *Science of the total environment*, 573, 778-787.
- Chanpiwat P., & Woong-Kim K. (2019). *Arsenic health risk assessment related to rice consumption behaviors in adults living in Northern Thailand*. Springer Link. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-019-7836-y>

