

การประเมินปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนในเมล็ดข้าว
กรณีศึกษา: ตำบลเกาะไร่ อำเภอบ้านโพธิ์ จังหวัดฉะเชิงเทรา
ASSESSMENT OF HEAVY METAL CONTAMINATIONS IN RICE:
A CASE STUDY OF KOH RAI SUBDISTRICT, BAN PHO DISTRICT,
CHACHOENGSAO PROVINCE

กิตติยา โต๊ะทอง*

Kitiya Totong*

สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี
Environmental Management Program, Faculty of Science and Technology, Dhonburi Rajabhat University

*corresponding author e-mail: kitiya.t@dru.ac.th

(Received: 21 August 2024; Revised: 25 November 2024; Accepted: 9 December 2024)

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินปริมาณโลหะหนัก ได้แก่ แมงกานีส (Mn) ทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) แคดเมียม (Cd) และสารหนูรวม (Total As) ที่ปนเปื้อนในตัวอย่างเมล็ดข้าวหลังเก็บเกี่ยว จากพื้นที่ศึกษา 5 แปลงนา ในตำบลเกาะไร่ อำเภอบ้านโพธิ์ จังหวัดฉะเชิงเทรา ทำการตรวจวิเคราะห์โลหะหนักที่ปนเปื้อนในตัวอย่างเมล็ดข้าวพันธุ์จัสมิน โดยใช้เทคนิค อินดักทีฟพลาสมาแมสสเปกโตรเมทรี (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry; ICP-MS) และการสังเกตพฤติกรรมการใช้สารเคมีทางการเกษตรของเกษตรกรผู้เพาะปลูกข้าว ทั้ง 5 แปลง ผลการศึกษา พบว่า ตัวอย่างเมล็ดข้าวมีการปนเปื้อนของแมงกานีสมากที่สุด (14.799–31.479 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) รองลงมา คือ สังกะสี ทองแดง สารหนูรวม และแคดเมียม ตามลำดับ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 14.549–18.368 2.393–3.859 0.094–0.105 และ 0.013–0.032 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งถือว่า ปริมาณการปนเปื้อนในช่วงดังกล่าวไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานที่กระทรวงสาธารณสุขของประเทศไทยกำหนด ทั้งนี้ปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนในตัวอย่างเมล็ดข้าวอาจมีความเกี่ยวข้องกับพฤติกรรมการใช้สารเคมีทางการเกษตรของเกษตรกร ดังนั้นเกษตรกรผู้เพาะปลูกควรลดการใช้สารเคมีทางการเกษตร โดยเลือกใช้สารเคมีเท่าที่จำเป็น และทดลองใช้สารอินทรีย์ชีวภาพที่มีประสิทธิภาพทดแทนการใช้สารเคมี ซึ่งจะช่วยลดปัญหาการตกค้างสะสมของสารเคมีในผลผลิต ลดต้นทุนในการผลิต รวมทั้งส่งผลดีต่อสุขภาพและความปลอดภัยของเกษตรกรและผู้บริโภคในห่วงโซ่อาหาร

คำสำคัญ: โลหะหนัก การปนเปื้อน ข้าว ฉะเชิงเทรา

Abstract

This study aims to assess the levels of heavy metals, including manganese (Mn), copper (Cu), zinc (Zn), cadmium (Cd), and total arsenic (Total As), contaminating rice grain samples after harvest from five rice fields in Koh Rai Subdistrict, Ban Pho District, Chachoengsao Province. The analysis of heavy metals in jasmine rice samples was conducted using Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry; ICP–MS while also observing the agricultural chemical practices of the farmers in all five fields. The results indicated that the rice samples had the highest manganese contamination (14.799–31.479 mg/kg) followed by zinc, copper, total arsenic, and cadmium, respectively, with concentrations ranging from 14.549–18.368, 2.393–3.859, 0.094–0.105, and 0.013–0.032 mg/kg, respectively. These contamination levels are within the standards set by the Ministry of Public Health of Thailand. Additionally, the levels of heavy metal contamination in the rice samples may be related to the agricultural chemical practices of the farmers. Therefore, farmers should reduce the use of chemical agricultural substances by using them only when necessary and experiment with the use of effective organic–biological substances as substitutes. This will help reduce the problem of chemical residue accumulation in the produce, lower production costs, and benefit the health and safety of both farmers and consumers in the food chain.

Keywords: Heavy metal, Contamination, Rice, Chachoengsao

บทนำ

ข้าว เป็นอาหารหลักของคนไทย และอาหารเป็นหนึ่งในปัจจัยสี่พื้นฐานของการดำรงชีวิตของมนุษย์ ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญในมิติทรัพยากรและการพัฒนาประเทศ โดยเฉพาะต่อภาคเศรษฐกิจ เนื่องจากประเทศไทยเป็นผู้ผลิตที่มีผลผลิตข้าวสูงเป็นอันดับ 6 ของโลก และเป็นผู้ส่งออกข้าวอันดับ 2 ของโลก ในจำนวนผลผลิตข้าวเปลือกทั้งหมดของประเทศประมาณร้อยละ 40 เป็นข้าวเพื่อการส่งออก ร้อยละ 30 เป็นข้าวเพื่อใช้บริโภคโดยตรง ร้อยละ 25 ใช้เป็นวัตถุดิบในภาคอุตสาหกรรมเพื่อนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ และอีกร้อยละ 5 เป็นข้าวที่ใช้ในการทำพันธุ์ (มูลนิธิชีววิถี, 2567) หากมองในมิติเศรษฐกิจ สิ่งแวดล้อม และสุขภาพ จะเห็นว่าภาคการผลิตข้าวให้ได้ผลผลิตสูง มีคุณภาพดี จำเป็นต้องคำนึงถึงความปลอดภัยจากการปนเปื้อนสารเคมีหรือสารพิษต่างๆ ที่อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของผู้บริโภค รวมทั้งเกษตรกร นอกจากนี้ หากผลผลิตข้าวมีการปนเปื้อนของสารเคมีทางการเกษตรและโลหะหนัก

ในข้าวหรือผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปจากข้าว ย่อมส่งผลต่อการกีดกันทางการค้าภาคอุตสาหกรรมและการส่งออกด้วย (สำนักคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 2560)

โลหะหนักบางชนิดเป็นพิษต่อร่างกาย อาทิ สารหนู แคดเมียม ปปรอท ตะกั่ว ในขณะที่โลหะหนักบางชนิดมีประโยชน์ต่อร่างกาย อาทิ แมงกานีส สังกะสี ทองแดง เหล็ก แต่หากได้รับในปริมาณที่ไม่เหมาะสมย่อมส่งผลต่อสุขภาพและการเจ็บป่วยได้เช่นกัน การปนเปื้อนโลหะหนักต่างๆ ในข้าว อาจเกิดจากสภาพดินหรือลักษณะทางภูมิศาสตร์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติ หรืออาจเกิดจากการประกอบกิจกรรมทางการเกษตรและอุตสาหกรรมที่ไม่ถูกต้อง อาทิ การใช้สารเคมีทางการเกษตร เช่น ยาฆ่าแมลง ยาฆ่าหญ้า ปุ๋ยเคมี เป็นต้น ลักษณะรูปแบบของการทำนา สภาพของดินในนา คุณภาพของน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูก ซึ่งปัจจัยเหล่านี้สามารถก่อให้เกิดการปนเปื้อนสะสมและการตกค้างของโลหะหนักในข้าวได้ และเมื่อนำข้าวไปบริโภคโดยตรงหรือแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ เพื่อการบริโภคย่อมส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้บริโภคตามห่วงโซ่อาหารและทำให้เกิดโรคมะเร็งได้ (ดารากร, จุไรรัตน์ และอาผู, 2566; นุชนารถ, สุลลธา และจุฑามาศ, 2560)

จากข้อมูลพื้นฐานของสำนักงานเกษตรอำเภอบ้านโพธิ์ พบว่า จังหวัดฉะเชิงเทรา มีพื้นที่เกษตรกรรมคิดเป็นร้อยละ 70.85 ของพื้นที่ทั้งหมดของจังหวัด และในจำนวนพื้นที่เกษตรกรรมนี้ คิดเป็นพื้นที่สำหรับทำนาถึงร้อยละ 39.08 โดยเฉพาะอำเภอบ้านโพธิ์ถือเป็นแหล่งเกษตรกรรมทำนาที่สำคัญของจังหวัด เนื่องจากมีลักษณะภูมิศาสตร์เป็นพื้นที่ราบลุ่มและมีแม่น้ำบางปะกงไหลผ่าน มีพื้นที่ปลูกข้าว รวม 16,776.01 ไร่ พันธุ์ข้าวที่เกษตรกรนิยมปลูก ได้แก่ พันธุ์สุพรรณบุรี 90 ปทุมธานี 1 ขาวดอกมะลิ 105 หอมปทุม บางแตน พิชญ์โลก 2 ชัยนาท 1 กข 31 กข 41 กข 47 กข 49 และ กข 61 (สำนักงานเกษตรอำเภอบ้านโพธิ์, 2564)

แม้ว่าหน่วยงานภาครัฐจะมียุทธศาสตร์ส่งเสริมให้เกษตรกรลดการใช้สารเคมีทางการเกษตรและรณรงค์ส่งเสริมให้เกษตรกรทำการเกษตรแบบอินทรีย์มากขึ้น เพื่อความปลอดภัยของผลผลิตและเกษตรกรเอง เพื่อให้ผลผลิตได้รับการยอมรับมากขึ้น ส่งเสริมให้เกษตรกรนำวัตถุดิบที่มีอยู่ในไร่นามาผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์ใช้ทดแทนปุ๋ยเคมีเพื่อช่วยลดต้นทุนการผลิต (สำนักงานเกษตรอำเภอบ้านโพธิ์, 2564) แต่จากการสังเกตในเบื้องต้นของผู้วิจัย พบว่า เกษตรกรส่วนใหญ่ยังคงมีการใช้สารเคมีทางการเกษตรอย่างต่อเนื่องเพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรและกำจัดแมลงศัตรูศัตรูพืชที่มารบกวน และต้องปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพบริบทพื้นที่ทางกายภาพของอำเภอบ้านโพธิ์ ในช่วงระยะเวลา 5–10 ปีที่ผ่านมา เนื่องจากพื้นที่ของอำเภอบ้านโพธิ์อยู่ใกล้กับอำเภอบางบ่อ จังหวัดสมุทรปราการ พบว่า มีการขยายการเจริญเติบโตของเมืองด้านบริการและที่อยู่อาศัย และมีแนวโน้มจะกลายเป็นย่านอุตสาหกรรมและชุมชนเมืองมากขึ้น เพราะอยู่ใกล้สนามบินสุวรรณภูมิ และมีนิคมอุตสาหกรรม การขยายตัวของเมืองและการเจริญเติบโตในด้านต่างๆ ที่กล่าวไปข้างต้น ส่งผลกระทบต่อการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปริมาณและ

คุณภาพของน้ำ ดิน บริบทของสภาพแวดล้อม สังคม รวมทั้งพฤติกรรมการปรับตัวของเกษตรกร ผู้เพาะปลูกข้าวต่อการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในทุกมิติ

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก ได้แก่ แมงกานีส สังกะสี ทองแดง สารหนูรวม และแคดเมียม ในตัวอย่างเมล็ดข้าวจากแปลงนาของเกษตรกร จำนวน 5 แปลง ในพื้นที่ตำบลเกาะไร่ อำเภอบ้านโพธิ์ จังหวัดฉะเชิงเทรา รวมทั้งการสังเกตแบบมีส่วนร่วมเพื่อศึกษาพฤติกรรมการใช้สารเคมีทางการเกษตรของเกษตรกรผู้เพาะปลูก เพื่อเป็น ข้อมูลประกอบและเป็นแนวทางการส่งเสริมให้เกษตรกรลดการใช้สารเคมีและหันมาทำเกษตร แบบอินทรีย์ด้วยวิธีการที่สอดคล้องกับสภาพปัญหาและบริบทของพื้นที่มากขึ้น

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเก็บตัวอย่างเมล็ดข้าว

ผู้วิจัยขอความอนุเคราะห์เก็บตัวอย่างเมล็ดข้าวจากเกษตรกรผู้เพาะปลูกข้าว 5 แปลงนา แต่ละแปลงมีพื้นที่ ประมาณ 6–20 ไร่ ได้แก่ แปลงนา A B C D และ E ในช่วงเดือน มกราคมถึงกุมภาพันธ์ 2564 ซึ่งเป็นช่วงฤดูการเก็บเกี่ยวผลผลิต โดยสุ่มเก็บตัวอย่างเมล็ดข้าว แต่ละแปลงนาจาก 2 จุด ได้แก่ 1) เมล็ดข้าวจากรวงข้าวบริเวณรอบแปลงนา และ 2) เมล็ดข้าว จาการถี่ยาวแบบอ้อม แล้วนำตัวอย่างเมล็ดข้าวจากทั้ง 2 จุด มาผสมรวมกัน แปลงละ 10 กิโลกรัม

ทั้งนี้พื้นที่แปลงนาทั้ง 5 แปลง อยู่ในพื้นที่ตำบลเดียวกัน (ตำบลเกาะไร่ อำเภอบ้านโพธิ์ จังหวัดฉะเชิงเทรา) มีการใช้น้ำจากแหล่งเดียวกัน (น้ำฝน/คลอง-นอกเขตชลประทาน) มีช่วง ระยะเวลาในการเริ่มต้นปลูกข้าวและเก็บเกี่ยวข้าวในระยะเวลาใกล้เคียงกัน ใช้พันธุ์ข้าวชนิด เดียวกันคือ พันธุ์จัสมิน ได้ผลผลิตข้าวเปลือกต่อไร่ในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน แต่มีวิธีการดูแลและ การใช้สารเคมีทางการเกษตรที่แตกต่างกัน กล่าวคือ แปลงนา A มีความถี่ในการใช้สารเคมีทาง การเกษตร ได้แก่ ยาฆ่าหญ้า ยาฆ่าแมลง ปุ๋ยเคมี มากกว่าแปลงนาอื่นๆ ส่วนแปลงนา E มีการใช้ จุลินทรีย์สังเคราะห์แสงร่วมด้วย เป็นต้น

2. เตรียมตัวอย่างเมล็ดข้าว

ทำการเตรียมตัวอย่างเมล็ดข้าวโดยนำตัวอย่างข้าวเปลือกจากแต่ละแปลงนาไปตาก ให้แห้งสนิท แยกเอาส่วนเปลือกข้าวออกจนเหลือแต่เมล็ดข้าวตัวอย่างด้วยวิธีการแบบภูมิปัญญา ชาวบ้าน คือ ตำในครกขนาดใหญ่ แล้วนำไปผัดด้วยกระดังเพื่อแยกเมล็ดข้าวออกจากเปลือกข้าว จะได้ตัวอย่างเมล็ดข้าว (ซึ่งวิธีการนี้เป็นวิธีการที่เกษตรกรใช้สำหรับแยกเปลือกข้าวออกจาก เมล็ดข้าว เพื่อนำเมล็ดข้าวที่ได้ไปใช้เลี้ยงลูกไก่ เนื่องจากในชุมชนไม่มีโรงสีข้าว)

จากนั้นนำเมล็ดข้าวแต่ละตัวอย่างมาแบ่งเป็นสี่ส่วน และสุ่มจากแต่ละส่วนมาจำนวน 50 กรัม จะได้ตัวอย่างเมล็ดข้าวรวม 200 กรัมต่อตัวอย่างต่อแปลงนา และนำตัวอย่างเมล็ดข้าวจากแต่ละแปลงนา ใส่ถุงซิปล็อคปิดสนิท เพื่อนำไปตรวจวิเคราะห์

3. การตรวจวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนในเมล็ดข้าว

นำตัวอย่างเมล็ดข้าวไปตรวจวิเคราะห์หาปริมาณแมงกานีส สังกะสี ทองแดง สารหนูรวม และแคดเมียม ด้วยเทคนิคอินดักทีฟคัปเพิลพลาสมาแมสสเปกโตรเมทรี (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry; ICP-MS) ที่ห้องปฏิบัติการของแผนกปฏิบัติการวิเคราะห์ หน่วยวิจัยและวิเคราะห์คุณภาพอาหารและยา สถาบันวิจัยจุฬาภรณ์ โดยค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้ (Limit of Detection; LOD) และค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์หาปริมาณได้ (Limit of Quantitation; LOQ) ของโลหะหนักแต่ละชนิด ดังตารางที่ 1

อนึ่ง เทคนิค ICP-MS ที่ใช้ในการตรวจวิเคราะห์ครั้งนี้ เป็นเทคนิคที่ทางสถาบันวิจัยจุฬาภรณ์ได้พัฒนาขึ้นเป็นการวิเคราะห์ตัวอย่างเพียงครั้งเดียว แต่สามารถตรวจวิเคราะห์ปริมาณธาตุได้หลายชนิด ซึ่งทำให้ประหยัดเวลาและปริมาณตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ และช่วยลดของเสียที่เกิดขึ้น (นุชนารถ, สุมลธฯ และจุฑามาศ, 2560)

ตารางที่ 1 การตรวจวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักชนิดต่างๆ ของตัวอย่างเมล็ดข้าว

(นุชนารถ, สุมลธฯ และจุฑามาศ, 2560)

ชนิดโลหะหนัก	วิธีการทดสอบ	LOD	LOQ	หน่วย
1) แมงกานีส (Mn)	ICP-MS	1.000	3.000	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
2) สังกะสี (Zn)	ICP-MS	1.500	5.000	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
3) ทองแดง (Cu)	ICP-MS	0.500	1.000	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
4) สารหนูรวม (Total As)	ICP-MS	0.020	0.060	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
5) แคดเมียม (Cd)	ICP-MS	0.006	0.013	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

4. การสังเกตพฤติกรรมการใช้สารเคมีทางการเกษตรของเกษตรกรผู้ปลูกข้าว

เก็บรวบรวมข้อมูลในส่วนที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมการใช้สารเคมีทางการเกษตรของเกษตรกรผู้ปลูกข้าวทั้ง 5 แปลงนา เพื่อนำมาใช้ประกอบการอธิบายผลการทดลองในห้องปฏิบัติการ ดังนี้

(1) ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมการใช้สารเคมีทางการเกษตรของเกษตรกร เช่น กองโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข (2565) และงานวิจัยของ ศรัณญภัส และปริศนา (2564)

(2) ทำการสังเกตพฤติกรรมการใช้สารเคมีทางการเกษตรของเกษตรกรผู้ปลูกข้าวทั้ง 5 แปลงนาแบบมีส่วนร่วม

(3) สอบถามเกษตรกรผู้เพาะปลูกแต่ละแปลงนา โดยการสัมภาษณ์แบบที่ไม่มีโครงสร้างแน่นอน

ผลการวิจัย

1. การปนเปื้อนโลหะหนักในตัวอย่างเมล็ดข้าว

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก 5 ชนิดในตัวอย่างเมล็ดข้าวพันธุ์จัสมิน จากแปลงนา 5 แปลงของพื้นที่ตำบลเกาะไร่ อำเภอบ้านโพธิ์ จังหวัดฉะเชิงเทรา พบว่า มีปริมาณแมงกานีสมากที่สุด อยู่ในช่วง 14.799–31.479 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมา ได้แก่ สังกะสี พบในช่วง 14.549–18.368 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ทองแดง พบในช่วง 2.393–3.859 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สารหนูรวม อยู่ในช่วง 0.094–0.105 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนแคดเมียมพบน้อยที่สุด ในช่วง 0.013–0.032 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งการปนเปื้อนโลหะหนักในตัวอย่างเมล็ดข้าวปริมาณดังกล่าวไม่เกินค่าเกณฑ์มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อนของกระทรวงสาธารณสุข ประเทศไทย กำหนดไว้ จึงถือว่าปลอดภัยต่อผู้บริโภค

ทั้งนี้พบว่าตัวอย่างเมล็ดข้าวจากแปลงนา A พบปริมาณแมงกานีส ทองแดง สังกะสี และสารหนูรวมปนเปื้อนมากที่สุด ในขณะที่แปลงนา E พบปริมาณแมงกานีส ทองแดง สังกะสี และแคดเมียม ในปริมาณน้อยที่สุด ส่วนตัวอย่างเมล็ดข้าวจากแปลงนา B และ C พบปริมาณการปนเปื้อนใกล้เคียงกัน เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเกณฑ์มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อนของกระทรวงสาธารณสุข ประเทศไทย พบว่า ตัวอย่างเมล็ดข้าวจากทุกแปลงนามีปริมาณการปนเปื้อนของทองแดง สังกะสี แคดเมียม และสารหนูรวม ไม่เกินค่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปริมาณโลหะหนักที่ตรวจพบในตัวอย่างเมล็ดข้าวจาก 5 แปลงนา ของเกษตรกรตำบลเกาะไร่ อำเภอบ้านโพธิ์ จังหวัดฉะเชิงเทรา

พื้นที่ศึกษา แปลงนา	Mn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Total As (mg/kg)
A	31.479	3.859	18.368	0.018	0.105
B	27.105	3.110	15.935	0.030	0.070
C	26.323	3.452	15.937	0.032	0.089
D	21.238	3.150	16.156	<0.013	0.098
E	14.799	2.393	14.549	<0.013	0.094
เกณฑ์มาตรฐาน (ประกาศกระทรวง สาธารณสุข, 2563)	–	20 mg/kg	100 mg/kg	0.4 mg/kg	2.0 mg/kg

2. พฤติกรรมการใช้สารเคมีทางการเกษตรของเกษตรกร

จากการสังเกตพฤติกรรมของเกษตรกรผู้เพาะปลูกข้าวจำนวน 5 รายจากพื้นที่ 5 แปลงนา ซึ่งอยู่ในพื้นที่ตำบลเดียวกันคือตำบลเกาะไร่ อำเภอบ้านโพธิ์ จังหวัดฉะเชิงเทรา มีการใช้น้ำจากแหล่งเดียวกัน (น้ำฝน/คลอง-นอกเขตชลประทาน) มีช่วงระยะเวลาในการเริ่มต้นปลูกข้าวและเก็บเกี่ยวข้าวในช่วงเวลาใกล้เคียงกัน ใช้พันธุ์ข้าวชนิดเดียวกันคือพันธุ์จัสมิน พบว่าแปลงนาที่ใช้เพาะปลูกทั้ง 5 แปลงเป็นนาเช่า มีขนาดพื้นที่ประมาณ 6–20 ไร่ เกษตรกร จำนวน 5 ราย มีอายุในช่วง 30–70 ปี มีประสบการณ์ในการทำนามาตลอดช่วงชีวิต โดยได้รับการถ่ายทอดความรู้และวิธีการทำนาจากรุ่นสู่รุ่น มีวิธีการดูแลนาข้าวและการใช้สารเคมีทางการเกษตร (ยาฆ่าหญ้า ยาฆ่าแมลง ปุ๋ยเคมี) ที่แตกต่างกัน กล่าวคือ แปลงนา A มีความถี่ในการใช้สารเคมีทางการเกษตร ได้แก่ ยาฆ่าหญ้า ยาฆ่าแมลง ปุ๋ยเคมี มากกว่าแปลงนาอื่นๆ ส่วนแปลงนา E มีการใช้จุลินทรีย์สังเคราะห์แสงร่วมด้วย เป็นต้น ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 พฤติกรรมการใช้สารเคมีทางการเกษตรของเกษตรกร 5 แปลงนา

แปลงนา	ขนาดพื้นที่ แปลงนา (ไร่)	ช่วงอายุของ เกษตรกร (ปี)	ความถี่ในการใช้สารเคมี ตลอดช่วงฤดูกาล เพาะปลูก	การใช้วิธีการ ทางเกษตรอินทรีย์ ร่วมด้วย
A	16–20	50–60	มากที่สุด	×
B	10–15	60–70	มาก	×
C	10–15	60–70	มาก	×
D	6–10	30–40	มาก	×
E	6–10	30–40	ปานกลาง	✓

(จุลินทรีย์สังเคราะห์แสง)

ผลจากการสังเกตแบบมีส่วนร่วมและสอบถามเกษตรกรผู้ปลูกข้าวจำนวน 5 ราย พบว่า เกษตรกรผู้ปลูกข้าวแปลงนา A มีการใช้สารเคมีทางการเกษตรมากกว่าเกษตรกรแปลงนาอื่นๆ เนื่องจากต้องการให้ได้ผลผลิตข้าวที่ดี มีปริมาณผลผลิตที่มาก จึงต้องยอมลงทุนใช้สารเคมีทางการเกษตรในการดูแลแปลงนามากเป็นพิเศษ แต่เกษตรกรอีก 4 ราย ได้แก่ แปลงนา B C D และ E ให้ข้อมูลว่า แนวโน้มราคาข้าวเปลือกปีนี้ราคาไม่สูง หากมีค่าใช้จ่ายต้นทุนสูงจะไม่คุ้มค่าการลงทุนลงแรง จึงเลือกใช้สารเคมีทางการเกษตรเท่าที่จำเป็นตามสถานการณ์ปัญหาที่พบในฤดูกาลเพาะปลูกนี้ ในขณะที่ เกษตรกรแปลงนา E ซึ่งเป็นเกษตรกรที่มีอายุน้อยที่สุด ต้องการที่จะลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในการทำนาฤดูกาลนี้ ประกอบกับมีความสนใจเรื่องของเกษตรอินทรีย์อยู่บ้าง จึงลองศึกษาหาความรู้จากแหล่งข้อมูลต่างๆ (เช่น อินเทอร์เน็ต กลุ่มเกษตรกร เป็นต้น) แล้วลงมือทดลองทำจุลินทรีย์สังเคราะห์แสงและนำไปใช้ในแปลงนาข้าว ซึ่งการทำจุลินทรีย์

สังเคราะห์แสงด้วยตนเองมีขั้นตอนวิธีการทำที่ไม่ยุ่งยาก และเมื่อนำไปใช้ครั้งแรกก็เป็นการลองผิดลองถูกก่อน เห็นผลช้าในช่วงแรก แต่ในภาพรวม พบว่า สภาพดินในแปลงนามีสภาพดีขึ้น ต้นข้าวเจริญเติบโตดี ลดค่าใช้จ่ายในการใช้สารเคมีทางการเกษตร (ปุ๋ยเคมี) ได้บ้างบางส่วน แต่ยังคงต้องใช้สารเคมีทางการเกษตรอื่นๆ ร่วมด้วย เพื่อกำจัดแมลงศัตรูพืชและวัชพืช

เมื่อสอบถามเกี่ยวกับแนวทางการลดการใช้สารเคมีทางการเกษตรและความสนใจทำเกษตรแบบอินทรีย์ เกษตรกรผู้ปลูกข้าวทั้ง 5 แปลงฯ ได้สะท้อนข้อมูลที่สำคัญว่า จากประสบการณ์ในการทำมาตตลอดช่วงชีวิตของตนเองจากรุ่นสู่รุ่น มีการใช้สารเคมีทางการเกษตร (ยาฆ่าแมลง ยาฆ่าหญ้า ปุ๋ยเคมี) มาเป็นระยะเวลายาวนาน วิธีการเลือกใช้สารเคมีทางการเกษตรส่วนใหญ่ใช้วิธีการเลือกใช้ในลักษณะเดียวกันกับเกษตรกรรายอื่นๆ ที่มีแปลงนาอยู่ในละแวกเดียวกัน โดยได้รับข้อมูลข่าวสารและแบ่งปันประสบการณ์ตรงจากเกษตรกรในพื้นที่เดียวกันและเกิดการส่งต่อข้อมูลข่าวสารร่วมกันว่าสารเคมีชนิดใดประเภทใดที่ใช้แล้วได้ผลดี เกษตรกรรายอื่นๆ ก็จะใช้ตามด้วย อีกทั้งสารเคมีทางการเกษตรสามารถหาซื้อได้ง่าย มีแหล่งขายในตลาดใกล้บ้าน ใช้งานง่าย สะดวก เห็นผลเร็ว ได้ผลดีเป็นที่พอใจ ส่วนการทำเกษตรแบบอินทรีย์ (ข้อมูลจากการแลกเปลี่ยนประสบการณ์จากเกษตรกรด้วยกัน) พบว่า มีปัญหาคือไม่สะดวก ทำยาก ไม่เหมาะกับสภาพบริบทแวดล้อมของพื้นที่ เนื่องจากมีความยุ่งยากในการเตรียมและขั้นตอนการใช้ การทำเกษตรแบบอินทรีย์มักได้ผลผลิตน้อย ไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอในการจัดการกับแมลงศัตรูพืชที่มารบกวน อีกทั้งแมลงศัตรูพืชจากแปลงนาที่ใช้สารเคมีทางการเกษตรฉีดพ่นจะหนีมารวมตัวกันอยู่ในแปลงนาเกษตรอินทรีย์มากขึ้น เนื่องจากพื้นที่แปลงนาของเกษตรกรแต่ละรายเป็นพื้นที่แปลงนาที่อยู่ติดต่อกันแบบแปลงนาแถบใหญ่ที่ครอบคลุมพื้นที่หลายหมู่บ้าน

อภิปรายผล

จากการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนในตัวอย่างเมล็ดข้าว จากแปลงนา 5 แปลงฯ ในพื้นที่ตำบลเกาะไร่ อำเภอบ้านโพธิ์ จังหวัดฉะเชิงเทรา พบว่า มีปริมาณการปนเปื้อนของแมงกานีส อยู่ในช่วง 14.799–31.479 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สังกะสี 14.549–18.368 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ทองแดง 2.393–3.859 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สารหนูรวม 0.070–0.105 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และแคดเมียม 0.013–0.032 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อนของกระทรวงสาธารณสุข ประเทศไทย (ประกาศกระทรวงสาธารณสุข, 2563) พบว่า ตัวอย่างเมล็ดข้าวจากทุกแปลงนามีปริมาณการปนเปื้อนของทองแดง สังกะสี แคดเมียม และสารหนูรวม ไม่เกินค่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด

เมื่อนำข้อมูลปริมาณโลหะหนักทั้ง 5 ชนิดที่ตรวจพบในตัวอย่างเมล็ดข้าว มาพิจารณาเทียบเคียงกับปริมาณโลหะหนักที่ตรวจพบในตัวอย่างเมล็ดข้าวของพื้นที่ต่างๆ ที่รายงานในช่วงปี

2558–2566 ที่ผ่านมา ดังตารางที่ 4 พบว่า ปริมาณแมงกานีส ที่พบในงานวิจัยนี้ (14.799–31.479 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) มากกว่าที่พบในพื้นที่จังหวัดบุรีรัมย์ (0.0001–0.0006 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) แต่อยู่ในช่วงใกล้เคียงกับที่พบในพื้นที่จังหวัดนนทบุรี ชัยนาท พิจิตร นครปฐม (5.404–29.750 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และอีสานเหนือ (11.000–37.000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

ส่วนปริมาณทองแดงที่พบในงานวิจัยนี้ (2.393–3.859 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) อยู่ในช่วงเดียวกันกับที่พบในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา (2.260–27.960 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และอีสานเหนือ (0.440–11.600 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) แต่น้อยกว่าที่พบในพื้นที่จังหวัดสกลนคร (6.585–13.353 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และมากกว่าที่พบในจังหวัดบุรีรัมย์ (0.0025–0.0028 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) เช่นเดียวกับ ปริมาณสังกะสีที่พบในงานวิจัยนี้ (14.549–18.368 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) มีค่าอยู่ในช่วงใกล้เคียงกับที่พบในพื้นที่จังหวัดนนทบุรี ชัยนาท พิจิตร และนครปฐม (6.677–89.000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และอีสานเหนือ (10.400–25.600 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) แต่น้อยกว่าที่พบในพื้นที่จังหวัดสกลนคร (315.287–587.587 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และมากกว่าที่พบในพื้นที่จังหวัดบุรีรัมย์ (0.541–0.735 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

ในขณะที่ปริมาณสารหนูรวมที่พบในงานวิจัยครั้งนี้ (0.070–0.105 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) มีปริมาณระดับใกล้เคียงกับที่พบในพื้นที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยา (0.080–0.240 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) แต่น้อยกว่าที่พบในพื้นที่จังหวัดสกลนคร (0.284–13.411 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

สำหรับแคดเมียม พบว่า ปริมาณแคดเมียมที่พบในงานวิจัยนี้ (0.013–0.032 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) มีปริมาณใกล้เคียงกับที่พบในเขตพื้นที่จังหวัดนนทบุรี ชัยนาท พิจิตร นครปฐม ภาคเหนือ ภาคอีสาน ภาคกลาง ภาคใต้ และจังหวัดพระนครศรีอยุธยา (0.001–0.050 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) แต่น้อยกว่าที่พบในพื้นที่จังหวัดบุรีรัมย์ (0.114–0.119 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และสอดคล้องกับงานวิจัยของ จักรกฤษณ์ และเวณิกา (2564) ที่พบว่า ปริมาณแคดเมียมในข้าวจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีปริมาณสูงกว่าภาคกลางและภาคเหนือ ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากการความแตกต่างของสภาพดิน การใช้ปุ๋ย และวิธีการเพาะปลูกที่แตกต่างกัน

เมื่อพิจารณาข้อมูลจากการสังเกตพฤติกรรมและสอบถามเกี่ยวกับการใช้สารเคมีทางการเกษตรของเกษตรกรผู้ปลูกข้าวทั้ง 5 ราย เพื่อใช้ประกอบการวิเคราะห์ร่วมกับปริมาณโลหะหนักที่ตรวจพบในตัวอย่างเมล็ดข้าว พบว่า เกษตรกรมีการใช้สารเคมีทางการเกษตร (ยาฆ่าแมลง ยาฆ่าหญ้า ปุ๋ยเคมี) มาเป็นระยะเวลายาวนาน มีวิธีการเลือกใช้สารเคมีทางการเกษตรในลักษณะเดียวกันกับเกษตรกรรายอื่นๆ ที่มีแปลงนาอยู่ในละแวกเดียวกัน โดยได้รับข้อมูลข่าวสารและแบ่งปันประสบการณ์ตรงจากเกษตรกรในพื้นที่เดียวกันและเกิดการส่งต่อข้อมูลข่าวสารร่วมกันว่าสารเคมีชนิดใดประเภทใดที่ใช้แล้วได้ผลดี เกษตรกรรายอื่นๆ ก็จะใช้ตามด้วย อีกทั้งสารเคมีทางการเกษตรสามารถหาซื้อได้ง่าย มีแหล่งขายในตลาดใกล้บ้าน ใช้งานง่าย สะดวก เห็นผลเร็ว

ได้ผลดีเป็นที่พอใจ สอดคล้องกับงานวิจัยของ กัญชลี และคณะ (2561) ที่พบว่า เกษตรกรยังคงพึ่งพาปุ๋ยเคมีเป็นหลัก โดยเกษตรกรมีพฤติกรรมการใช้สารเคมีทางการเกษตรต่อเนื่องมาเป็นระยะเวลายาวนาน และในพื้นที่เดียวกันจะมีการใช้ปุ๋ยเคมีเหมือนๆ กัน เนื่องจากได้รับข้อมูลข่าวสารจากเพื่อนบ้าน ซึ่งปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการตัดสินใจในการใช้ปุ๋ยเคมีของเกษตรกรที่ทำนาข้าว ได้แก่ ความสะดวกในการใช้ ประสิทธิภาพตรงที่เคยใช้แล้วได้ผลดี ราคาปุ๋ยเคมี ช่องทางการจัดจำหน่ายหาซื้อได้ง่าย และสอดคล้องกับผลการวิจัยของกองโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข (2565) ที่พบว่า การใช้สารเคมีทางการเกษตรเพื่อช่วยเพิ่มปริมาณผลผลิตทางการเกษตรที่ตอบสนองการพัฒนาที่มุ่งเน้นการแสวงหาผลประโยชน์ที่จะได้รับ เป็นสิ่งที่กลุ่มเกษตรกรไม่อาจหลีกเลี่ยงได้ เช่นเดียวกับการปลูกข้าว จำเป็นต้องใช้ปุ๋ยเคมีในการบำรุงต้นข้าวเพื่อให้ต้นข้าวเจริญเติบโตและให้ผลผลิตที่ดี ซึ่งเกษตรกรถือว่าเป็นแนวปฏิบัติปกติทั่วไปในการเพาะปลูก ไม่ได้ตระหนักถึงการตกค้างของสารเคมีและผลกระทบจากการใช้สารเคมี จึงยังคงใช้สารเคมีมาอย่างต่อเนื่อง แม้ว่าเกษตรกรบางรายพยายามหาทางเลือกอื่นๆ เพื่อลดหรือเลิกใช้สารเคมีทางการเกษตรด้วยการใช้ปุ๋ยชีวภาพแทน แต่สุดท้ายต้องหวนกลับมาใช้สารเคมีทางการเกษตรเหมือนเดิม เพราะปุ๋ยเคมีใช้น้อยแต่เห็นผลเร็วกว่าการใช้ปุ๋ยชีวภาพที่ต้องใช้บ่อยและเห็นผลช้า

นอกจากนี้ปริมาณโลหะหนักที่ตรวจพบในตัวอย่างเมล็ดข้าวเหล่านี้ อาจเกี่ยวข้องกับพฤติกรรมการใช้สารเคมีทางการเกษตร เนื่องจาก แปลงนา A ซึ่งเกษตรกรมีพฤติกรรมการใช้สารเคมีมากกว่าแปลงนาอื่นๆ พบปริมาณการสะสมของแมงกานีส ทองแดง สังกะสี และสารหนูรวมในตัวอย่างเมล็ดข้าวมากกว่าแปลงนาอื่นๆ ซึ่งการใช้สารเคมีทางการเกษตรในระหว่างการฉีดพ่นอาจก่อให้เกิดการแพร่กระจายลงสู่แหล่งน้ำและพื้นดิน เกิดการสะสมตกค้างของสารเคมีในผลผลิตและในห่วงโซ่อาหาร และส่งผลต่อสุขภาพของเกษตรกรและผู้บริโภค (กองโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข, 2565)

ในขณะที่แปลงนา E มีการใช้จุลินทรีย์สังเคราะห์แสงในการทำนาร่วมกับสารเคมีทางการเกษตร จึงพบปริมาณโลหะหนักดังกล่าวปนเปื้อนในตัวอย่างเมล็ดข้าวน้อยกว่าแปลงนาอื่นๆ ทั้งนี้ อาจเนื่องจากการนำจุลินทรีย์สังเคราะห์แสงมาใช้สำหรับการเพาะปลูกข้าว ส่งผลให้รากของต้นข้าวเจริญงอกงามมากขึ้นและลักษณะของต้นข้าวมีความแข็งแรง รวมทั้งยังทำให้ผลผลิตของข้าวเพิ่มมากขึ้นด้วย (เรารักชาวนา, 2557)

ตารางที่ 4 ปริมาณโลหะหนักที่ตรวจพบในตัวอย่างเมล็ดข้าวในพื้นที่ต่างๆ

พื้นที่ศึกษา (ปีที่รายงาน)	Mn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Total As (mg/kg)	แหล่งที่มาของข้อมูล
งานวิจัยนี้ จังหวัดฉะเชิงเทรา (2567)	14.799–31.479	2.393–3.859	14.549–18.368	0.013–0.032	0.070–0.105	
จังหวัดบุรีรัมย์ (2566)	0.0001–0.0006	0.0025–0.0028	0.541–0.735	0.114–0.119	–	(นาฏสุตา, นพพล และสุภัฏญา, 2566)
จังหวัดนนทบุรี, ชัยนาท, พิจิตร, นครปฐม (2565)	5.404–29.750	–	6.677–18.614	0.001–0.050	–	(รัตนา และคณะ, 2565)
4 ภูมิภาค (2564)						(จักรกฤษณ์ และเวณิกา, 2564)
• ภาคเหนือ	–	–	–	0.015–0.036	–	
• ภาคกลาง	–	–	–	0.004–0.040	–	
• ภาคอีสาน	–	–	–	0.016–0.047	–	
• ภาคใต้	–	–	–	0.015–0.022	–	
จังหวัดพระนครศรีอยุธยา (2563)	–	2.260–27.960	15.900–89.000	0.004–0.016	0.080–0.240	(Kladsomboon et al., 2020)
จังหวัดสกลนคร (2563)						(ประยูร, นิธิภัทร และวัลลภ, 2563)
• การทำนาแบบเกษตรอินทรีย์	–	6.585–13.353	384.787–459.187	–	4.492–10.841	
• การทำนาแบบใช้สารเคมี	–	<4.416–11.643	315.287–587.587	–	0.284–13.411	
ทางการเกษตร						
อีสานเหนือ (2558)	11.000–37.000	0.440–11.600	10.400–25.600	–	–	(Inboonchuay et al., 2015)

สรุปผลการวิจัย

ตัวอย่างเมล็ดข้าวจาก 5 แปลงนาในเขตพื้นที่ตำบลเกาะไร่ อำเภอบ้านโพธิ์ จังหวัดฉะเชิงเทรา มีปริมาณการปนเปื้อนแมงกานีส และสังกะสี มากที่สุด แต่พบการปนเปื้อนของแคดเมียมน้อยที่สุด ซึ่งปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนักทั้ง 5 ชนิด ได้แก่ แมงกานีส สังกะสี ทองแดง สารหนูรวม และแคดเมียมที่พบในตัวอย่างเมล็ดข้าวของงานวิจัยครั้งนี้ ไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานที่กระทรวงสาธารณสุขของประเทศไทยกำหนดไว้ จึงถือว่าปลอดภัยต่อผู้บริโภค ทั้งนี้ ปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนอาจมีความเกี่ยวข้องกับพฤติกรรมการใช้สารเคมีทางการเกษตรของเกษตรกร ซึ่งหากเกษตรกรผู้เพาะปลูกลดการใช้สารเคมีทางการเกษตร โดยเลือกใช้สารเคมีเท่าที่จำเป็น และทดลองใช้สารอินทรีย์ชีวภาพที่มีประสิทธิภาพเพื่อทดแทนการใช้สารเคมี อาจช่วยลดต้นทุนในการผลิต ช่วยลดปัญหาการตกค้างสะสมของสารเคมีในดิน น้ำ และผลผลิต ตลอดจนส่งผลดีต่อสุขภาพและความปลอดภัยของเกษตรกรและผู้บริโภคในห่วงโซ่อาหารด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณเกษตรกรผู้ปลูกข้าวทั้ง 5 แปลงนา ในพื้นที่ตำบลเกาะไร่ อำเภอบ้านโพธิ์ จังหวัดฉะเชิงเทรา ที่ให้ความร่วมมือในการให้ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการขั้นตอนการทำนาและตัวอย่างข้าวเปลือก ตลอดจนวิธีการแยกเอาส่วนเปลือกข้าวออกจนเหลือแต่เมล็ดข้าวตัวอย่างตามภูมิปัญญาชาวบ้านด้วยกัลยาณมิตรและจิตเมตตาจนกระทั่งงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- กองโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข. (2565). การศึกษาผลกระทบจากการใช้สารเคมีอันตรายที่ใช้ในภาคเกษตร (ไกลโฟเสต) และค่าใช้จ่ายสำหรับการรักษาฟื้นฟูสุขภาพของกลุ่มเสี่ยงและกลุ่มป่วยจากการใช้สารเคมีทางการเกษตร. สืบค้นเมื่อ 17 กรกฎาคม 2567, จาก <https://ddc.moph.go.th/uploads/publish/1388720230220111053.pdf>
- กัญชลี เจริญานนท์, ภิญญาภา เปลี่ยนบางช้าง, ศักดิ์ชัย วิทยาอารีย์กุล, วันวิสาข์ ปั่นศักดิ์, และสุพรรณนิภา อินตะนันท์. (2561). พฤติกรรมการใช้ปุ๋ยเคมีของเกษตรกรบ้านโพธิ์ประสาธน์ ตำบลบ่อทอง อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก. *วารสารเกษตร*, 34(2), 245–253.
- จักรกฤษณ์ สกตกิจดิณณากุล, และเวณิกา เบญจพงษ์. (2564). สถานการณ์การปนเปื้อนแคดเมียมในข้าวจากพื้นที่ผลิตข้าวสำคัญใน 4 ภูมิภาคของประเทศไทย. *วารสารพิษวิทยาไทย*, 36(1), 18–32.
- ดารากร อัดฮาดศรี, จุไรรัตน์ ฝอยถาวร, และอาหู่ เบเซ. (2566). *ปลูกพืชให้ปลอดภัยในดินที่ปนเปื้อนสารหนู (Arsenic) และแคดเมียม (Cadmium)*. องค์ความรู้เพื่อการพัฒนาพื้นที่สูงอย่างยั่งยืน. สืบค้นเมื่อ 17 กรกฎาคม 2567, จาก <https://hkm.hrdi.or.th/Knowledge/detail/658>
- นาฏสุดา ภูมิจำนงค์, นพพล อรุณรัตน์, และสุกัญญา เสรินทร์ชัย. (2566). การสะสมโลหะหนักในพื้นที่ปลูกข้าว จังหวัดบุรีรัมย์ ประเทศไทย. *วารสารเกษตรพระวรุณ*, 20(1), 136–143.

- นุชนารถ รังคศิลา, สุมลธา หนูคาบแก้ว, และจุฑามาศ สัตยวิวัฒน์. (2560). **การตรวจวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในอาหาร**. ห้องปฏิบัติการวิจัยเภสัชวิทยา สถาบันวิจัยจุฬาภรณ์ (CRI), สถาบันบัณฑิตศึกษาจุฬาภรณ์ (CGI) และศูนย์ความเป็นเลิศด้านอนามัยสิ่งแวดล้อมและพิษวิทยา. สืบค้นเมื่อ 17 กรกฎาคม 2567, จาก <https://www.cri.or.th/th/การตรวจวิเคราะห์ปริมาณ/>
- ประกาศกระทรวงสาธารณสุข. (2563). **ราชกิจจานุเบกษา**, 137 (ตอนพิเศษ 118 ง), 17–18.
- ประยูร ประเทศ, นิธิภัทร บุญปก, และวัลลภ ทาทอง. (2563). การศึกษาการปนเปื้อนโลหะหนักในข้าวเขตพื้นที่องค์การบริหารส่วนตำบลดงมะไฟ อำเภอเมืองสกลนคร จังหวัดสกลนคร. ใน **การประชุมวิชาการด้าน “วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สร้างสรรค์นวัตกรรมเพื่อชุมชน”** (น. 592–599). เลย: มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย.
- มูลนิธิชีววิถี. (2567). **10 อันดับจังหวัดผลิตข้าวมากที่สุดของประเทศไทย**. สืบค้นเมื่อ 17 กรกฎาคม 2567, จาก <https://biothai.net/biological-and-genetic-resource/jasmine/7928>
- รัตนา ปานเรียนแสน, ณิชฐา กิจประเทือง, ปรีตนา เพียรจริง, และศุภฤกษ์ เจริญสุข. (2565). การศึกษาปริมาณสังกะสี แมงกานีส และแคดเมียมในข้าวสารจากตลาดข้าวในภาคกลางของประเทศไทย และการประเมินการรับสัมผัส. **วารสารสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา**, 7(1), 11–26.
- เรารักชาวนา. (2557). **การใช้จุลินทรีย์สังเคราะห์แสงในการเพิ่มผลผลิตข้าว**. สืบค้นเมื่อ 17 กรกฎาคม 2567, จาก <https://www.welovefarmers.com/wp-content/uploads/2014/03/การใช้จุลินทรีย์สังเคราะห์แสงในการเพิ่มผลผลิตข้าว.pdf>
- สำนักคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. (2560). **โครงการคุณภาพและความปลอดภัยของข้าวสารที่จำหน่ายในประเทศไทยปี 2560**. สืบค้นเมื่อ 17 กรกฎาคม 2567, จาก <http://bqsf.dmsc.moph.go.th/bqsfWeb/wp-content/uploads/2017/Publish/Infographic/Info-rice.pdf>
- สำนักงานเกษตรอำเภอบ้านโพธิ์. (2564). **ข้อมูลด้านการเกษตร**. สืบค้นเมื่อ 17 กรกฎาคม 2567, จาก https://chachoengsao.doae.go.th/banpho/?page_id=483
- ศรัณณภัส รักศีล, และปรีตนา วงศ์ล้อม. (2021). พฤติกรรมการใช้สารเคมีทางการเกษตรของเกษตรกรในพื้นที่ปลูกข้าวไรซ์แซมสวนยางพารา ในตำบลเขาพระทอง อำเภอชะอวด จังหวัดนครศรีธรรมราช. **แก่นเกษตร**, 1(2021), 720–724.
- Inboonchuay, T., Suddhiprakarn, A., Kheoruenromne, I., Anusornpomporn, S., & Glikes, R.J. (2015). Distribution and concentration of major and trace elements in paddy soils and rice plant of Korat Basin, Northeast Thailand. **Thai Journal of Agricultural Science**, 48(3), 147–156.
- Kladsomboon, S., Jaiyen, C., Choprathumma, C., Tusai, T., & Apilux, A. (2020). Heavy metals contamination in soil, surface water, crops, and resident blood in Uthai District, Pra Nakhon Sri Ayutthaya, Thailand. **Environ Geochem Health**, 42, 545–556.