

# การประเมินความปลอดภัยของพันธุ์ข้าวผ่านการสะสมโลหะหนักทางชีวภาพภายใต้สภาวะการปลูกแบบใช้สารเคมีทางการเกษตรในพื้นที่จังหวัดพิษณุโลก

## EVALUATING THE SAFETY OF RICE CULTIVARS VIA THE BIOACCUMULATION OF HEAVY METALS UNDER AGROCHEMICAL-INTENSIVE PRACTICES IN PHITSANULOK PROVINCE

ปิยะดา วชิระวงศ์กร<sup>1\*</sup>, ทองใส จำนงการ<sup>2</sup> และณัฏฐินี ดีแท้<sup>1</sup>

Piyada Wachirawongsakorn<sup>1\*</sup>, Tongchai Jamnongkan<sup>2</sup> and Natthinee Deetae<sup>1</sup>

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติของดินนาและประเมินการปนเปื้อนโลหะหนักในดินนาและเมล็ดข้าวในแปลงนาที่ปลูกข้าว 5 สายพันธุ์ คือ กข41, กข49, กข51, กข79 และ กข85 โดยสุ่มเก็บตัวอย่างดินและข้าวที่พร้อมเก็บเกี่ยวในแปลงของเกษตรกรเดียวกัน ข้าวแต่ละสายพันธุ์จะสุ่มเก็บจากเกษตรกร 3 ราย รวมทั้งสิ้น 15 แปลงตัวอย่าง ในพื้นที่จังหวัดพิษณุโลก ปริมาณโลหะหนักวิเคราะห์ด้วยเครื่องเครื่องฟลอมอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโทรมิเตอร์ พร้อมทั้งประเมินศักยภาพในการสะสมทางชีวภาพของโลหะหนักในพันธุ์ข้าว ผลการศึกษา พบว่าดินนามีเนื้อดิน ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ปริมาณอินทรีย์วัตถุ และปริมาณโพแทสเซียมเหมาะสมต่อการเพาะปลูกข้าว แต่มีปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในปริมาณต่ำจำเป็นต้องมีการปรับปรุงคุณภาพของดินเพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตของข้าว สำหรับการปนเปื้อนโลหะหนักในดินมีระดับการปนเปื้อนไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด โดยมีการปนเปื้อนของ แมงกานีส>สังกะสี>ตะกั่ว>ทองแดง>แคดเมียม ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 76.35-240.88, 27.14-209.74, 1.70-28.11, 2.37-17.90 และ 3.87-6.29 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ สำหรับการปนเปื้อนโลหะหนัก

<sup>1</sup>วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000

<sup>1</sup>Faculty of Science and Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, Mueang District, Phitsanulok Province 65000

<sup>2</sup>คณะวิทยาศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี 20230

<sup>2</sup>Faculty of Science, Sriracha, Sriracha District, Kasetsart University, Chonburi Province 20230

\*corresponding author e-mail: piyada333@hotmail.com

Received: 21 October 2023; Revised: 14 December 2023; Accepted: 24 December 2023

DOI: <https://doi.org/10.14456/lsej.2024.3>

ในเมล็ดข้าวพบเพียงปริมาณการปนเปื้อนตะกั่วในข้าว กข41 ที่เกินเกณฑ์มาตรฐานที่ประกาศของกระทรวงสาธารณสุข ( $\leq 0.2$  มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) อย่างไรก็ตาม ไม่มีข้าวสายพันธุ์ใดเลยที่จัดเป็นพืชในกลุ่ม Hyperaccumulation เนื่องจากมีค่าการศึกษภาพการสะสมทางชีวภาพ (BAF)  $< 1$

**คำสำคัญ:** การปนเปื้อน โลหะหนัก นาข้าว การปลูกข้าว ศักยภาพการสะสมทางชีวภาพ

### Abstract

The objectives of this research were to study the paddy soil properties and assess heavy metal contamination in paddy soil and rice grains in fields where five rice varieties, namely, RD41, RD49, RD51, RD79 and RD85 were cultivated. Paddy soil and rice grain samples were randomly collected from the same plots belonging to individual farmers, with three samples obtained for each rice variety, resulting in a total of 15 sample plots within Phitsanulok province. The heavy metal contents were quantified by using a flame atomic absorption spectrometer. The bioaccumulation factors of heavy metals in these rice varieties were subsequently evaluated. The results indicated that paddy soil exhibits a suitable soil texture and pH level, with adequate quantities of organic matter and potassium for rice cultivation. However, the nitrogen and phosphorus contents were presented in relatively low, necessitating soil quality improvement to enhance rice growth. Regarding heavy metal contamination in the paddy soil, these contamination levels did not exceed the specified standards. The contamination levels ranked as follows:  $Mn > Zn > Pb > Cu > Cd$ , with ranged between 76.35-240.88, 27.14-209.74, 1.70-28.11, 2.37-17.90, and 3.87-6.29 mg/kg, respectively. In terms of heavy metal contamination in rice grains, only the amount of Pb contamination in the RD41 rice variety was found to exceed the standard criteria announced by the Ministry of Public Health ( $\leq 0.2$  mg/kg). Nevertheless, none of the rice varieties were classified as hyperaccumulators, as their Bioaccumulation Factors (BAF) consistently remained below 1.

**Keywords:** contamination, heavy metal, paddy field, rice cultivation, bioaccumulation

## บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีข้าวเป็นผลผลิตหลักทางการเกษตร ถึงแม้ประเทศไทยจะไม่ได้เป็นประเทศที่มีผลผลิตข้าวสารมากที่สุดในโลก แต่จัดเป็นผู้ส่งออกข้าวรายใหญ่ที่สุดในโลก โดยแหล่งปลูกข้าวพบกระจายทั่วทุกภาคของประเทศไทย (Rice Department, 2019) พื้นที่ปลูกข้าวเหล่านี้ต้องผลิตข้าวเพื่อรองรับความต้องการข้าวทั้งตลาดภายในประเทศและตลาดโลกซึ่งจะเห็นได้ว่ามีเพิ่มมากขึ้นในทุก ๆ ปี โดยการขยายตัวของความต้องการข้าวขึ้นอยู่กับการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรและการใช้ข้าวเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมแปรรูปและอาหารสัตว์ เกษตรกรจึงต้องมีการใช้พื้นที่ปลูกข้าวอย่างเข้มข้นทั้งความถี่ในการปลูกข้าวและความเข้มข้นของการใช้สารเคมีในการปรับปรุงบำรุงดินและป้องกันศัตรูพืชเพื่อเพิ่มปริมาณและคุณภาพของข้าวเพื่อให้ได้ราคาสูง ซึ่งกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ได้ออกประกาศการกำหนดพื้นที่เป้าหมายในการส่งเสริมการปลูกข้าว เพื่อจัดทำแผนการผลิตและการตลาดข้าวครบวงจร โดยพบว่าจังหวัดพิษณุโลกเป็นจังหวัดหนึ่งในพื้นที่เป้าหมายที่จะส่งเสริมให้ปลูกข้าว (Rice Department, 2019) ทั้งนี้เป็นที่ทราบกันดีว่าการใช้ที่ดินอย่างเข้มข้นจากการทำการเกษตรต่อเนื่องเป็นระยะเวลานานจะมีผลต่อการสะสมสารพิษในดินได้โดยเฉพาะโลหะหนักที่มาจากการใช้ปุ๋ยและสารเคมีต่าง ๆ จึงเป็นไปได้ว่าจะเป็นที่นาข้าวที่มีความเสี่ยงต่อการใช้ปุ๋ยเคมีและการสะสมโลหะหนักในดินสูงด้วยเช่นเดียวกัน

โลหะหนักนับว่าเป็นสารพิษประเภทหนึ่งที่มีความเป็นพิษสูงต่อสิ่งมีชีวิต และโลหะหนักก็สามารถเข้าไปสะสมอยู่ในพืชและจะเพิ่มปริมาณสูงขึ้นได้ตามห่วงโซ่อาหาร เมื่อได้รับเข้าไปสะสมในร่างกายเกินกว่าที่ร่างกายจะสามารถกำจัดสารพิษได้หมด จะทำให้เกิดการล้มป่วยหรือตายในที่สุด (Kiatsayomphu & Chaiklieng, 2012) ที่ผ่านมามีงานวิจัยด้านอนามัยสิ่งแวดล้อม พิษวิทยา และการบริหารจัดการสารเคมีได้ร่วมมือกับสถาบันวิจัยจุฬาภรณ์ทำการสุ่มตัวอย่างข้าวที่มีจำหน่ายภายในกรุงเทพฯ ถึงแม้ค่าเฉลี่ยในภาพรวมของโลหะหนักแต่ละชนิดจะผ่านเกณฑ์มาตรฐาน แต่ค่าสูงสุดที่สามารถตรวจพบได้นั้นมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐาน โดยได้พบว่าข้าวหอมมะลิมีปริมาณตะกั่วที่สามารถตรวจวัดได้สูงสุด 0.299 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม นอกจากนี้ Wachirawongsakorn et al. (2017) ได้ประเมินการปนเปื้อนโลหะหนัก ความเสี่ยงต่อสุขภาพ และความเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งจากการบริโภคข้าวที่จำหน่ายในตลาดบริเวณพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทยในปี 2560 พบว่าตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสี มีค่าเฉลี่ยของโลหะหนักปนเปื้อนในข้าวผ่านเกณฑ์ที่กำหนดไว้ทั้งหมดยกเว้นทองแดง การบริโภคข้าวสารแต่ละชนิดของประชาชนนั้นมีความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการบริโภคข้าวอยู่ระหว่าง 0.218-1.437 ซึ่งการบริโภคข้าวขาวเจ็ดहु่น ข้าวปทุมไข ข้าวแม่แปด ข้าวหอมมะลิยโสธร ข้าวหอมมะลิอุตรดิตถ์ ข้าวหอมดอกคำใต้ และข้าวเหนียว กข.6 จะสามารถก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพได้ และการบริโภคข้าวหอมแปดริ้วอย่างต่อเนื่องจะสามารถเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งได้ แต่การบริโภคข้าวชนิดอื่น ๆ นั้นโดยส่วนใหญ่ยังถือว่าปลอดภัยต่อการเกิดโรคมะเร็ง ทั้งนี้ ข้าวแต่

ละลายพันธุก็มีความสามารถในการดูดซับโลหะหนักแต่ละชนิดไปสะสมในส่วนต่าง ๆ ที่แตกต่างกัน (Hseu et al., 2010) ดังนั้น การเลือกพันธุ์ข้าวที่มีประสิทธิภาพในกระบวนการเคลื่อนย้ายโลหะหนักที่น้อยที่สุด และเลือกใช้สารเคมีให้เหมาะสมกับพันธุ์ข้าวที่มีกระบวนการเคลื่อนย้ายโลหะหนักแต่ละชนิดก็จะส่งผลทำให้ผลผลิตข้าวมีการปนเปื้อนโลหะหนักที่ลดน้อยลง

ดังนั้น ผู้วิจัยเห็นว่าจึงมีความจำเป็นที่ต้องมีการศึกษาถึงการสะสมโลหะหนักในดิน การสะสมโลหะหนักในข้าว และการถ่ายทอดโลหะหนักจากดินไปสะสมโลหะหนักของข้าวแต่ละสายพันธุ์ เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการวางแผนการป้องกันการปนเปื้อนสารพิษในนาข้าวและผลผลิตข้าว และสามารถใช้อรรถความรู้ที่ได้ไปแนะนำเกษตรกรในการเลือกพันธุ์ข้าวและสารเคมีทางการเกษตรได้อย่างเหมาะสม ทำให้ได้ผลผลิตข้าวที่ปลอดภัยจากสารพิษ ซึ่งไม่ก่อให้เกิดโรคและผลกระทบต่อสุขภาพของผู้บริโภค

## วิธีดำเนินการวิจัย

### พื้นที่ศึกษาและกลุ่มตัวอย่าง

การศึกษานี้ดำเนินการสุ่มเก็บตัวอย่างในนาข้าวสายพันธุ์ที่นิยมปลูกในพื้นที่จังหวัดพิษณุโลก ในช่วงนาปรัง 5 สายพันธุ์ ได้แก่ กข41, กข49, กข51, กข79 และ กข85 ในการเก็บตัวอย่างจะเป็นการสุ่มเก็บตัวอย่างแบบบังเอิญ โดยจะเก็บตัวอย่างในแปลงนาข้าวของเกษตรกรผู้ปลูกข้าวที่แตกต่างกันในแต่ละพันธุ์ข้าว แต่ละชนิดพันธุ์ข้าวจะเก็บ 3 แปลง แต่ละแปลงจะเก็บทั้งตัวอย่างเมล็ดข้าวที่พร้อมเก็บเกี่ยวและตัวอย่างดิน ซึ่งการวิจัยนี้ได้เก็บตัวอย่างในช่วงเดือนกุมภาพันธ์-พฤษภาคม พ.ศ.2565

### การเก็บตัวอย่าง การเตรียมตัวอย่าง และวิเคราะห์คุณภาพดิน

เก็บตัวอย่างดินในแปลงนาของเกษตรกรในแต่ละตัวอย่างจะเก็บในพื้นที่นาข้าว 15 จุดกระจายทั่วแปลง แล้วนำตัวอย่างที่ได้มารวมกัน โดยการเก็บดินแต่ละจุดให้ใช้พลั่วหรือเสียมกวาดเศษหญ้า ใบไม้ บริเวณรอบ ๆ แล้วขุดดินเป็นรูปสี่เหลี่ยมประมาณ 15 เซนติเมตร หลังจากนั้นเก็บดินโดยใช้พลั่วแซะดินข้างหลุม (ด้านเรียบ) ให้ได้ดินเป็นแผ่นหนาประมาณ 2-3 เซนติเมตร จนถึงก้นหลุม ดินที่ได้เก็บรวบรวมใส่ถุง จากนั้นนำดินตัวอย่างมาคลุกเคล้าให้เข้ากันแล้วเทลงบนผ้าพลาสติก ทำการคลุกเคล้าอีกครั้งโดยยกมุมผ้าพลาสติกทีละ 2 มุม ที่อยู่ตรงข้ามกัน ทำสลับมุมกัน 3-4 ครั้ง หลังจากนั้นกองดินให้เป็นรูปผาซี แล้วใช้มือตบยอดกองให้แบนราบ หลังจากนั้นใช้นิ้วมือขีดเป็นกากบาท (+) บนยอดกอง ซึ่งจะทำได้ดินถูกแบ่งแยกเป็น 4 ส่วน และทำการเก็บตัวอย่างดินจากกองดินนี้เพียง 1 ส่วน ประมาณ 1-2 กิโลกรัม ใส่ดินลงในถุงพลาสติกที่เตรียมไว้ เตรียมตัวอย่างดินที่เก็บได้มาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง บดตัวอย่างดิน แล้วนำไปร่อนด้วยตะแกรงร่อนดินขนาด 2 mesh เพื่อนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติดินตามวิธีมาตรฐาน (Land Development Department, 2010) ดังแสดงในตารางที่ 1 (Table 1)

### การเก็บตัวอย่าง การเตรียมตัวอย่าง และวิเคราะห์โลหะหนักในเมล็ดข้าว

การเก็บตัวอย่างเมล็ดข้าวจะเก็บในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการเก็บเกี่ยวโดยเลือกเก็บตัวอย่างเมล็ดจากต้นข้าวแปลงละ 5 ต้น กระจายทั่วแปลงตัวอย่าง จากนั้นนำตัวอย่างเมล็ดข้าวมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่นให้สะอาด แล้วนำไปอบจนแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็น ทำการบดตัวอย่างข้าวให้ละเอียดและร่อนด้วยตะแกรงขนาด 1 mesh ทำการย่อยตัวอย่างข้าว 0.25 กรัม ด้วยกรดไนตริก 9 มิลลิลิตร และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปย่อยตามวิธีมาตรฐาน U.S. EPA. Method 3015a ด้วยเครื่อง High Performance Microwave Digestion ยี่ห้อ Milestone Connect รุ่น Ethos™ UP ประเทศอิตาลี ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จนสารละลายใส ปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร ด้วยกรดไนตริก 1% กรองด้วยกระดาษกรอง (Whatman) เบอร์ 42 แล้วนำไปวิเคราะห์โลหะหนัก ได้แก่ ตะกั่ว แคดเมียม สังกะสี ทองแดง และแมงกานีส ด้วยเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอปซอบชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (FAAS) ยี่ห้อ SHIMADZU รุ่น AA-6200 ประเทศญี่ปุ่น

**Table 1** Soil parameters and analysis methods

| Soil parameters                                 | Methods of soil analysis                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Soil pH                                      | pH meter (1:5 soil : water ratio)<br>(Mettler Toledo SevenEasy S20 pH Meter, Switzerland)                                                                                                                                                                                                                                                |
| 2. Soil texture                                 | Hydrometer method                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 3. Soil organic matter (%)                      | Walkley and Black method                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 4. Total nitrogen (%)                           | Kjeldahl distillation method                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 5. Available phosphorus (mg/kg)                 | Spectrophotometric method<br>(Thermo Scientific™ brand, Evolution 201/220 UV Vis Spectrophotometers model, Thailand)                                                                                                                                                                                                                     |
| 6. Available Potassium (mg/kg)                  | Flame Photometer<br>(M420 brand, CLINICAL 198-264V 50/60HZ model, England)                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 7. Heavy metals (mg/kg)<br>(Pb, Cd, Zn, Cu, Mn) | Flame Atomic Absorption Spectrophotometer (FAAS)<br>(SHIMADZU brand, AA-6200 model, Japan)<br>Pb (LOD = 0.001, LOQ = 0.004, 95% Recovery)<br>Cd (LOD = 0.0003, LOQ = 0.001, 97% Recovery)<br>Cu (LOD = 0.0005, LOQ = 0.0003, 93% Recovery)<br>Zn (LOD = 0.006, LOQ = 0.002, 95% Recovery)<br>Mn (LOD = 0.001, LOQ = 0.003, 89% Recovery) |

### การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการเคลื่อนย้ายโลหะหนักจากดินสู่เมล็ดข้าว

ต้นข้าวจัดเป็นพืชชนิดหนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการเคลื่อนย้ายโลหะหนักมาสะสมในส่วนต่าง ๆ ของต้นและเมล็ดได้ โดยประสิทธิภาพในการเคลื่อนย้ายโลหะหนักนั้นจะพิจารณาจากค่าศักยภาพการสะสมทางชีวภาพของพืช (Bioaccumulation factor: BAF) (Satpathy et al., 2014) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$BAF = \frac{Cr}{Cs}$$

โดยที่ Cr คือ ความเข้มข้นของโลหะหนักในข้าว  
Cs คือ ความเข้มข้นของโลหะหนักในดิน

โดยพันธุ์ข้าวที่มีความสามารถในการดูดซับโลหะหนักสูงจะต้องมีค่า BAF มากกว่า 1 แต่ถ้ามีค่า BAF น้อยกว่า 1 แสดงว่าพันธุ์ข้าวดังกล่าวมีความสามารถในการดูดซับโลหะหนักได้น้อย จึงสามารถนำมาบริโภคได้ (Fitz et al., 2002)

### การวิเคราะห์ข้อมูลและสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์

คุณสมบัติของดินบางประการและปริมาณการสะสมของโลหะหนักทั้งในดินและเมล็ดข้าว อีกทั้งประสิทธิภาพการเคลื่อนย้ายโลหะหนักจากดินสู่ข้าวใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุด และค่าสูงสุด รวมถึงการเปรียบเทียบความแตกต่างจากผลการศึกษานำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธี Analysis of variance (ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างรายคู่ด้วยวิธี Least Square Difference (LSD) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ( $p \leq 0.05$ )

## ผลการวิจัย

### คุณสมบัติของดินนาในจังหวัดพิษณุโลก

ดินนาในพื้นที่จังหวัดพิษณุโลกมีเนื้อดินเป็นดินเหนียวที่มีสัดส่วนโดยน้ำหนักของอนุภาคดิน 3 กลุ่มขนาด คือ กลุ่มอนุภาคทราย (sand) อยู่ระหว่างร้อยละ 3.00-21.00 (ค่าเฉลี่ยร้อยละ  $11.56 \pm 4.94$ ) อนุภาคทรายแป้ง (silt) อยู่ระหว่างร้อยละ 12.00-39.00 (ค่าเฉลี่ยร้อยละ  $26.56 \pm 9.69$ ) และอนุภาคดินเหนียว (clay) อยู่ระหว่างร้อยละ 42.00-80.00 (ค่าเฉลี่ยร้อยละ  $61.88 \pm 12.60$ ) มีสภาพเป็นดินกรด-ดินกรดปานกลาง (pH 4.83-7.77) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $6.04 \pm 0.78$  จัดอยู่ในระดับดินเป็นกลาง ปริมาณอินทรีย์อยู่ในระดับต่ำมาก-ค่อนข้างสูง (อยู่ในช่วงร้อยละ 0.33-2.59) โดยมีค่าเฉลี่ยร้อยละ  $1.69 \pm 0.66$  จัดอยู่ในระดับปานกลาง สำหรับธาตุอาหารหลักในดิน ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดอยู่ในระดับต่ำมาก-ต่ำ (อยู่ในช่วงร้อยละ 0.02-0.14) มีค่าเฉลี่ยร้อยละ  $0.08 \pm 0.03$  ซึ่งจัดอยู่ในระดับต่ำมาก สำหรับปริมาณฟอสฟอรัสจัดอยู่ในระดับต่ำมาก (อยู่ในช่วง 0.52-1.33 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $0.91 \pm 0.24$  มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และปริมาณโพแทสเซียมจัดอยู่ในระดับสูง-สูงมาก

(อยู่ในช่วง 51.33-177.80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $110.37 \pm 37.09$  มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดังตารางที่ 2 (Table 2)

#### การปนเปื้อนโลหะหนักในดินนา

การปนเปื้อนโลหะหนักในดินนามีปริมาณ แมกนีเซียม>สังกะสี>ตะกั่ว>ทองแดง>แคดเมียม โดยมีการปนเปื้อนอยู่ในช่วง 76.35-240.88, 27.14-209.74, 1.70-28.11, 2.37-17.90 และ 3.87-6.29 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพดินจะพบว่าปริมาณเฉลี่ยของโลหะหนักดังกล่าวมีค่าที่ไม่เกินค่าสูงสุดที่กำหนดไว้ โดยการสะสมแคดเมียม สังกะสี ทองแดง และแมกนีเซียมในดินของพันธุ์ข้าวทั้ง 5 สายพันธุ์ ไม่แตกต่างกันมากนัก แต่การสะสมตะกั่วพบว่ามีค่าสูงพันธุ์ กข49 มีการสะสมตะกั่วในดินเฉลี่ย  $26.48 \pm 2.30$  มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งมีปริมาณมากกว่าแปลงปลูกข้าวสายพันธุ์อื่นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 รองลงมา ได้แก่ ดินในแปลงปลูกข้าวสายพันธุ์ กข79 และ กข89 ที่มีปริมาณสะสมเฉลี่ยใกล้เคียงกัน คือ  $21.87 \pm 0.13$  และ  $18.41 \pm 1.31$  มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ในขณะที่แปลงปลูกข้าวพันธุ์ กข51 มีการสะสมตะกั่วที่น้อยที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $3.34 \pm 2.30$  มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดังตารางที่ 3 (Table 3)

#### การปนเปื้อนโลหะหนักในเมล็ดข้าว

จากการตรวจวิเคราะห์การปนเปื้อนโลหะหนักที่ปนเปื้อนข้าวในแปลงนาข้าวทั้ง 5 สายพันธุ์ ของเกษตรกรในพื้นที่จังหวัดพิษณุโลก พบว่าข้าว กข41 มีการปนเปื้อนโลหะหนักทุกชนิด โดยมีการปนเปื้อนแมกนีเซียมมากที่สุด รองลงมา ได้แก่ ตะกั่ว ทองแดง แคดเมียม และสังกะสี ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $26.70 \pm 6.11$ ,  $1.07 \pm 1.53$ ,  $0.88 \pm 0.13$ ,  $0.071 \pm 0.027$  และ  $0.17 \pm 0.02$  มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ในขณะที่ตรวจไม่พบการปนเปื้อนตะกั่วและสังกะสีในข้าวพันธุ์ กข49 กข51 กข79 และ กข89 นอกจากนี้ ตรวจพบการปนเปื้อนแคดเมียมและแมกนีเซียมในข้าวทุกสายพันธุ์ โดยข้าว กข79 มีการปนเปื้อนแคดเมียมสูงกว่าพันธุ์ข้าวชนิดอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ส่วนปริมาณการปนเปื้อนแมกนีเซียมในเมล็ดข้าวนั้นมีปริมาณไม่แตกต่างกันทางสถิติโดยมีค่าอยู่ในช่วง 19.16-37.87 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานจะเห็นได้ว่าระดับการปนเปื้อนแคดเมียม ทองแดง และสังกะสี ไม่เกินค่าสูงสุดที่ยอมรับได้ แต่ปริมาณตะกั่วในข้าว กข41 มีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานตามประกาศของกระทรวงสาธารณสุข ที่กำหนดให้ข้าวควรมีตะกั่วในเมล็ดข้าวได้ไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และปริมาณการปนเปื้อนเฉลี่ยของแมกนีเซียมในข้าวทุกสายพันธุ์มีปริมาณสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่ Australian and New Zealand Environment and Conservation (ANZECC) กำหนดไว้ไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แต่อย่างไรก็ตาม ยังจัดว่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานของ FAO/WHO ที่กำหนดไว้มีค่าสูงถึง 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดังตารางที่ 3 (Table 3)

**Table 2** Physical and chemical properties of paddy soils in area of Phitsanulok province

| Rice variety | Soil texture |             |             | Soil type | pH        | SOM<br>(%) | N<br>(%)   | P<br>(mg/Kg) | K<br>(mg/Kg)  |
|--------------|--------------|-------------|-------------|-----------|-----------|------------|------------|--------------|---------------|
|              | %sand        | %silt       | %clay       |           |           |            |            |              |               |
| RD41         |              |             |             |           |           |            |            |              |               |
| Min.-Max.    | 3-12         | 17-39       | 50-80       | clay      | 4.83-6.64 | 0.87-2.59  | 0.04-0.12  | 0.52-1.11    | 83.73-177.80  |
| Average±S.D. | 7.20±2.95    | 24.40±8.99  | 68.40±11.63 | clay      | 6.10±0.63 | 1.79±0.62  | 0.09±0.03  | 0.86±0.23    | 112.26±35.77  |
| RD49         |              |             |             |           |           |            |            |              |               |
| Min.-Max.    | 10-15        | 22-38       | 52-63       | clay      | 5.16-5.85 | 1.62-1.72  | 0.07-0.09  | 0.17-1.33    | 76.73-116.53  |
| Average±S.D. | 12.50±3.54   | 30.00±11.31 | 57.50±7.78  | clay      | 5.51±0.49 | 1.69±0.04  | 0.08±0.002 | 1.25±0.11    | 95.63±26.73   |
| RD51         |              |             |             |           |           |            |            |              |               |
| Min.-Max.    | 15-21        | 32-39       | 44-50       | clay      | 5.39-5.86 | 2.31-2.44  | 0.10-0.14  | 0.65-0.69    | 51.33-64.37   |
| Average±S.D. | 18.00±4.24   | 35.50±4.95  | 46.50±0.71  | clay      | 5.41±0.03 | 2.38±0.09  | 0.12±0.004 | 0.67±0.002   | 57.85±9.22    |
| RD79         |              |             |             |           |           |            |            |              |               |
| Min.-Max.    | 7-16         | 12-15       | 72-78       | clay      | 7.25-7.77 | 1.85-2.23  | 0.08-0.12  | 0.78-0.89    | 154.00-172.33 |
| Average±S.D. | 11.50±6.36   | 13.50±2.12  | 75.00±4.24  | clay      | 7.51±0.37 | 2.04±0.27  | 0.10±0.01  | 0.83±0.07    | 162.17±11.55  |
| RD85         |              |             |             |           |           |            |            |              |               |
| Min.-Max.    | 8-19         | 30-39       | 42-62       | clay      | 5.30-6.15 | 0.33-1.14  | 0.02-0.06  | 0.76-1.24    | 100.60-134.53 |
| Average±S.D. | 14.00±5.57   | 35.33±4.73  | 50.67±10.26 | clay      | 5.71±0.43 | 0.78±0.40  | 0.04±0.02  | 1.00±0.24    | 116.27±17.12  |
| Overview     |              |             |             |           |           |            |            |              |               |
| Min.-Max.    | 3.00-21.00   | 12.00-39.00 | 42.00-80.00 | clay      | 4.83-7.77 | 0.33-2.59  | 0.02-0.14  | 0.52-1.33    | 51.33-177.80  |
| Average±S.D. | 11.56±4.94   | 26.56±9.69  | 61.88±12.60 |           | 6.04±0.78 | 1.69±0.66  | 0.08±0.03  | 0.91±0.24    | 110.37±37.09  |

**Remark** n = 3 plot replications per each rice variety, Min.-Max. is minimum-maximum detected, SOM is soil organic matter,

pH : Extremely acidic (<4.5), Very strongly acidic (4.5-5), Moderately acidic (5-6), Neutral (6-7.5), Alkaline (7.5-8.5), Strongly alkaline (>8.5) (Yingchatchawan, 1993)

SOM: Extremely low level (<0.3%), Very low level (0.3-0.5%), Low level (0.5-0.7%), Relatively low level (0.7-0.9%), Relatively low to medium level (0.9-1.2%), Medium level (1.2-1.5%), Medium to relatively high level (1.5-1.7%), Relatively high level (1.7-2.0%), High level (2.0-6.0%), Very high level (>6.0%) (Pattanathaworn, 2020)

N: Very low level (<0.1%), Low level (0.1-0.3%), Medium level (0.3-0.6%), High level (0.6-1.0%), Very high level (>1.0%) (Soil Analysis Division, 2001)

P: Very low level (<3 mg/kg), Low level (3-6 mg/kg), Medium low level (6-10 mg/kg), Medium level (10-15 mg/kg), Medium high level (15-25 mg/kg), High level (25-45 mg/kg), Very High level (>45 mg/kg) (Soil Analysis Division, 2001)

K: Very low level (<30 mg/kg), Low level (30-60 mg/kg), Medium level (60-90 mg/kg), High level (90-120 mg/kg), Very High level (>120 mg/kg) (Soil Analysis Division, 2001)



**Table 3** Heavy metal contamination of paddy soils and rice grains in area of Phitsanulok province

| Rice variety | Heavy metal content (mg/kg)         |                                        |                                        |                          |                                     |
|--------------|-------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|
|              | Pb                                  | Cd                                     | Cu                                     | Zn                       | Mn                                  |
| Paddy soils  |                                     |                                        |                                        |                          |                                     |
| RD41         | 11.45±3.22 <sup>c</sup>             | 4.70±0.86 <sup>b</sup>                 | 7.25±4.30 <sup>a</sup>                 | 88.78±65.26 <sup>a</sup> | 174.26±59.54 <sup>a</sup>           |
| RD49         | 26.48±2.30 <sup>a</sup>             | 6.27±0.03 <sup>a</sup>                 | 11.20±1.38 <sup>a</sup>                | 69.70±9.58 <sup>a</sup>  | 171.95±2.03 <sup>a</sup>            |
| RD51         | 3.34±2.30 <sup>d</sup>              | 5.47±0.25 <sup>a</sup>                 | 6.25±0.06 <sup>a</sup>                 | 58.38±1.44 <sup>a</sup>  | 77.58±1.74 <sup>b</sup>             |
| RD79         | 21.87±0.13 <sup>b</sup>             | 5.91±0.12 <sup>a</sup>                 | 7.45±0.69 <sup>a</sup>                 | 59.70±4.60 <sup>a</sup>  | 208.88±26.78 <sup>a</sup>           |
| RD89         | 18.41±1.31 <sup>b</sup>             | 5.92±0.16 <sup>a</sup>                 | 12.71±0.85 <sup>a</sup>                | 79.00±2.52 <sup>a</sup>  | 199.44±99.93 <sup>a</sup>           |
| Min.-Max.    | 1.70-28.11                          | 3.87-6.29                              | 2.37-17.90                             | 27.14-209.74             | 76.35-240.88                        |
| Average±S.D. | 13.10±7.78                          | 5.27±0.81                              | 8.49±4.62                              | 72.76±45.4               | 157.13±56.54                        |
| MAC          | ≤400 <sup>*</sup>                   | ≤70 <sup>***</sup> , ≤762 <sup>*</sup> | ≤41 <sup>**</sup> , ≤36 <sup>***</sup> | ≤100 <sup>***</sup>      | ≤19,640 <sup>*</sup>                |
| Rice grains  |                                     |                                        |                                        |                          |                                     |
| RD41         | 1.07±1.53 <sup>a</sup>              | 0.071±0.027 <sup>c</sup>               | 0.88±0.13 <sup>a</sup>                 | 0.17±0.02 <sup>a</sup>   | 26.70±6.11 <sup>a</sup>             |
| RD49         | ND <sup>a</sup>                     | 0.078±0.022 <sup>bc</sup>              | ND <sup>a</sup>                        | ND <sup>b</sup>          | 25.84±3.82 <sup>a</sup>             |
| RD51         | ND <sup>a</sup>                     | 0.091±0.030 <sup>ab</sup>              | ND <sup>a</sup>                        | ND <sup>b</sup>          | 27.90±0.89 <sup>a</sup>             |
| RD79         | ND <sup>a</sup>                     | 0.100±0.020 <sup>a</sup>               | 0.39±0.08 <sup>a</sup>                 | ND <sup>b</sup>          | 25.73±1.12 <sup>a</sup>             |
| RD89         | ND <sup>a</sup>                     | 0.089±0.044 <sup>ab</sup>              | ND <sup>a</sup>                        | ND <sup>b</sup>          | 21.85±0.34 <sup>a</sup>             |
| Min.-Max.    | ND-4.64                             | 0.061-0.100                            | ND-4.03                                | ND-1.18                  | 19.16-37-87                         |
| Average±S.D. | 0.47±1.15                           | 0.079±0.011                            | 0.43±1.07                              | 0.07±0.30                | 26.63±5.37                          |
| MAC          | ≤0.2 <sup>A</sup> , ≤5 <sup>B</sup> | ≤0.2 <sup>C</sup> , ≤0.4 <sup>B</sup>  | ≤10 <sup>B</sup>                       | ≤50 <sup>A</sup>         | ≤5 <sup>D</sup> , ≤500 <sup>B</sup> |

**Remark** n = 3 plot replications per each rice variety,

Different small lowercase letters within a row indicate significant differences among the heavy metal contents in different rice varieties (LSD test: P < 0.05)

MAC is maximum allowable concentration (mg/kg)

MAC of soil: <sup>\*</sup>Announcement of the National Environmental Board 2021,

<sup>\*\*</sup>Land Development Department standard (Soil Analysis Division, 2001),

<sup>\*\*\*</sup>WHO standard (WHO, 1996)

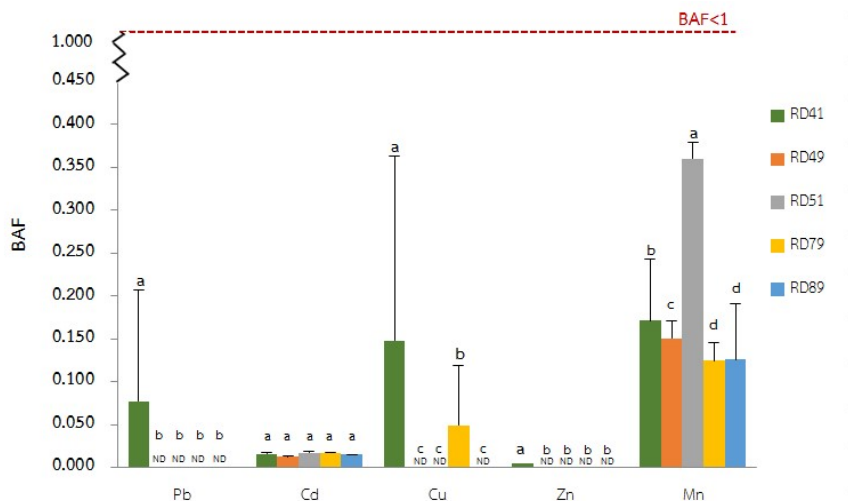
MAC of rice grain: <sup>A</sup>Announcement of the Ministry of Public Health (No. 414)

2020, <sup>B</sup>FAO/WHO standard (Mao et al., 2019), <sup>C</sup>ECC standard, <sup>D</sup>ANZECC standard

(Budaraga & Salihat, 2021)

### การประเมินศักยภาพการสะสมทางชีวภาพของโลหะหนักในพันธุ์ข้าว

ศักยภาพการสะสมทางชีวภาพของข้าวทั้ง 5 สายพันธุ์ มีศักยภาพการสะสมโลหะหนักที่แตกต่างกัน ข้าวมีการศักยภาพการสะสมแมงกานีสมากที่สุด รองลงมา คือ ทองแดง แคดเมียม ตะกั่ว และสังกะสี ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเฉลี่ย  $0.186 \pm 0.039$  (อยู่ในช่วง 0.094-0.374), 0.039 (อยู่ในช่วง 0-0.520), 0.015 (อยู่ในช่วง 0.012-0.018), 0.015 (อยู่ในช่วง 0-0.288) และ 0.0009 (อยู่ในช่วง 0-0.031) ตามลำดับ ทั้งนี้ ข้าว กข51 มีศักยภาพการสะสมแมงกานีสมากกว่าข้าวสายพันธุ์อื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $0.360 \pm 0.020$  ในขณะที่ข้าว กข41 มีศักยภาพการสะสมตะกั่ว ทองแดง และสังกะสี สูงกว่าข้าวชนิดอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ทั้งนี้ ข้าว กข49 กข51 กข79 และ กข89 ไม่มีศักยภาพในการสะสมตะกั่วและสังกะสี อย่างไรก็ตาม ศักยภาพการสะสมโลหะหนักทุกชนิดในข้าวทุกสายพันธุ์ยังมีค่าน้อยกว่า 1 ( $BAF < 1$ ) ไม่จัดเป็นพืชในกลุ่ม Hyperaccumulation ดังภาพที่ 1 (Figure 1)



**Figure 1** Bioaccumulation of heavy metals in five rice varieties grown in Phitsanulok province

### อภิปรายผล

ดินนาที่ใช้ปลูกข้าว กข.41, กข.49, กข.51, กข.79 และ กข.85 ในช่วงการปลูกข้าวนาปรังของพื้นที่จังหวัดพิษณุโลกมีคุณสมบัติดินทั่วไปเช่นเดียวกับดินนาทั่วไปของประเทศไทย โดยมีเนื้อดินเป็นดินเหนียวที่เหมาะสมสำหรับการเพาะปลูกข้าว เนื่องจากมีสภาพเป็นกลุ่มดินเนื้อละเอียด ได้แก่ ดินเหนียวที่มีการระบายน้ำและอากาศไม่ดี แต่สามารถอุ้มน้ำ ดูดยิด และแลกเปลี่ยนธาตุอาหารพืชได้ดี เหมาะที่จะใช้ทำนาปลูกข้าวเพราะเก็บน้ำได้นาน (Land Development Department, 2023) สภาพเป็นดินกรด-ดินกรดปานกลาง (pH 4.83-7.77) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $6.04 \pm 0.78$  จัดอยู่ในระดับดินเป็นกลาง

ซึ่งมีสภาพเช่นเดียวกับดินนาในประเทศไทยส่วนใหญ่ที่มีปฏิกิริยาเป็นกรด แต่เมื่ออยู่ในสภาพน้ำขัง ปฏิกิริยาของดินจะเข้าใกล้ความเป็นกลางมากขึ้น ทำให้ไม่มีความจำเป็นที่ต้องใช้ปูนขาวแก้ไขความเป็นกรดในดินนาทั่วไป (Kongngoen & Pansiri, 2009) อย่างไรก็ตามการเจริญเติบโตได้ดีควรมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินอยู่ในช่วง 5.5-6.5 (Agricultural Resource Systems Research Center, 2023) ปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับต่ำมาก-ค่อนข้างสูง (อยู่ในช่วงร้อยละ 0.33-2.59) โดยมีค่าเฉลี่ยร้อยละ  $1.69 \pm 0.66$  จัดอยู่ในระดับปานกลาง ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับการศึกษาปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินนาพื้นที่อื่น ๆ จะเห็นได้ว่ามีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกัน โดย Prommee et al. (2021) ได้ศึกษาดินในพื้นที่นาข้าวอำเภอศีขรภูมิ จังหวัดสุรินทร์ พบว่ามีปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในช่วงร้อยละ 0.12-3.26 ซึ่งจัดอยู่ในระดับปานกลาง – ระดับค่อนข้างสูง และมีค่าเฉลี่ยร้อยละ  $1.75 \pm 0.68$  ซึ่งจัดว่าอยู่ในระดับปานกลาง เมื่อพิจารณาปริมาณธาตุอาหารหลักในดิน ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดอยู่ในระดับต่ำมาก-ต่ำ (อยู่ในช่วงร้อยละ 0.02-0.14) และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $0.08 \pm 0.03$  ซึ่งจัดอยู่ในระดับต่ำมาก เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณไนโตรเจนในดินนาในพื้นที่อื่น ๆ ก็จะได้เห็นว่าส่วนใหญ่มีไนโตรเจนอยู่ในระดับต่ำเช่นเดียวกัน ดังเช่น Prommee et al. (2021) พบว่าปริมาณไนโตรเจนในดินนาของอำเภอศีขรภูมิ จังหวัดสุรินทร์ ส่วนใหญ่อยู่ในระดับต่ำ คิดเป็นร้อยละ 55.26 รองลงมา คือ อยู่ในระดับต่ำมาก ร้อยละ 42.10 เป็นต้น ทั้งนี้ Rice Research Institute (2004) ได้แนะนำให้ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนสำหรับข้าวไวต์ต่อแสงที่ปลูกในดินที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำกว่าร้อยละ 1 ในอัตรา 9 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ ส่วน Department of Agriculture (2000) แนะนำให้ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในนา อัตรา 8-12 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ นอกจากนี้ Samakkarn (2011) พบว่าการที่เกษตรกรการปลูกข้าวโดยใช้ฟางข้าวแห้งสับและฟางข้าวเผาทำให้สมบัติของดินดีขึ้น ทั้งนี้ การไถกลบเศษเหลือพืชจากการทำนา ได้แก่ ตอซังและฟาง โดยไม่เผาทำลาย น่าจะเป็นมาตรการที่สามารถเป็นการเพิ่มอินทรีย์วัตถุ ไนโตรเจนในดินเพิ่มแร่ธาตุอาหาร และในระยะยาวจะทำให้ค่าความหนาแน่นรวมของดินลดลง นอกจากนี้ ดินที่อุดมสมบูรณ์เพิ่มขึ้นจากการใช้ประโยชน์จากเศษเหลือพืช น่าจะทำให้ความต้องการการใช้ปุ๋ยและการไถพรวนลดลงได้ (Ubon et al., 2011) สำหรับปริมาณฟอสฟอรัสจัดอยู่ในระดับต่ำมาก (อยู่ในช่วง 0.52-1.33 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $0.91 \pm 0.24$  มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พื้นที่นาที่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่ต่ำจึงควรต้องมีการจัดการธาตุอาหารในดินให้เหมาะสม เนื่องจากถ้าพืชขาดธาตุนี้ระบบรากจะไม่เจริญเติบโต ลำต้นแกร็นไม่ผลิดอกออกผล (Wannasai, 2004) อย่างไรก็ตามดินโดยทั่วไปมีการดูดตรึงฟอสฟอรัสไว้ได้มาก จึงจำเป็นต้องควบคุมปัจจัยบางประการเพื่อลดการดูดตรึงฟอสฟอรัสของดิน เช่น การควบคุมความเป็นกรดเป็นด่างของดิน ปริมาณอินทรีย์วัตถุให้เพียงพอต่อความต้องการของจุลินทรีย์ที่ช่วยละลายฟอสเฟต เพื่อให้พืชได้ใช้ประโยชน์จากธาตุฟอสฟอรัสมากที่สุด (Somsar, 2006) ซึ่งการจัดการเพื่อป้องกันและแก้ไขการขาดฟอสฟอรัส คือ ไถกลบฟางข้าวลงในแปลงเพราะถึงแม้ว่าปริมาณฟอสฟอรัสในฟางข้าวจะมีน้อย แต่จะช่วยรักษาระดับฟอสฟอรัสในดินในระยะยาวได้ และควรใส่

ปุ๋ยฟอสเฟส ปุ๋ยคอกและวัสดุอินทรีย์อื่นๆ ให้กับข้าวให้พอเพียงเพื่อชดเชยธาตุอาหารที่เสียไปในช่วงการเก็บเกี่ยวผลผลิต รวมถึงใส่สารปรับปรุงบำรุงดิน เช่น ปูนมาร์ล ปูนขาว หรือโดโลไมต์ เพื่อช่วยเพิ่มความเป็นประโยชน์ของปุ๋ยฟอสเฟต (Rice Research and Development Office, 2023) ส่วนปริมาณโพแทสเซียมในดินนาที่จัดอยู่ในระดับสูง-สูงมาก (อยู่ในช่วง 51.33-177.80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) สำหรับการปนเปื้อนโลหะหนักในดินนาที่มีการปนเปื้อนของ แมงกานีส>สังกะสี>ตะกั่ว>ทองแดง>แคดเมียม ซึ่งพบว่ามีความสอดคล้องกับปริมาณการสะสมโลหะหนักในดินนาที่บริเวณชายฝั่งตะวันออกของประเทศอินเดียที่พบว่าการสะสมของ แมงกานีส>สังกะสี>ตะกั่ว>ทองแดง>แคดเมียม (Satpathy et al., 2014) ในขณะที่มีผลที่แตกต่างจากปริมาณการสะสมโลหะหนักในดินนาในพื้นที่เคดาห์และปีนังของประเทศมาเลเซียที่มี แมงกานีส>แคดเมียม> ตะกั่ว >สังกะสี>ทองแดง (Jamil et al., 2011) การปนเปื้อนของโลหะหนักในดินนาในพื้นที่ศึกษาถึงแม้จะไม่ได้รับอิทธิพลจากกิจกรรมการทำเหมืองแร่หรือโรงงานอุตสาหกรรม แต่ก็อาจจะมาจากการชะล้างปนเปื้อนจากการใช้สารเคมีทางการเกษตรในปริมาณมากและต่อเนื่องในพื้นที่เพาะปลูกข้าวเป็นระยะเวลานาน รวมถึงน้ำที่ใช้ในการทำนาที่อาจจะมี การปนเปื้อนโลหะหนักทำให้เกิดการสะสมในดินได้ ซึ่ง Bolan et al. (2005) รายงานว่าการใช้ปุ๋ยเคมีเป็นแหล่งที่ก่อให้เกิดมลพิษที่สำคัญในนาข้าว อย่างไรก็ตาม ดินนาในพื้นที่ศึกษายังจัดว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพดินที่กำหนดไว้สำหรับการทำการเกษตรกรรมตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ เมื่อพิจารณาปริมาณการปนเปื้อนโลหะหนักในเมล็ดข้าวจะเห็นได้ว่าตรวจไม่พบการปนเปื้อน ตะกั่วและสังกะสีในข้าวพันธุ์ กข49 กข51 กข79 และ กข89 ในขณะที่ข้าว กข41 มีการปนเปื้อนตะกั่วที่เกินค่ามาตรฐานโดยมีค่าเฉลี่ย  $1.07 \pm 1.53$  มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งเกินค่ามาตรฐานที่ตามประกาศของกระทรวงสาธารณสุข ที่กำหนดให้ข้าวควรมีตะกั่วในเมล็ดข้าวได้ไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และแต่ ยังอยู่ในเกณฑ์ค่าสูงสุดที่ยอมรับได้ของ FAO/WHO กำหนดให้ข้าวควรมีตะกั่วในเมล็ดข้าวได้ไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Mao et al., 2019) ผลการศึกษามีความสอดคล้องกับการศึกษาการปนเปื้อน ตะกั่วในข้าวก่อนหน้านี้นี้ที่ได้มีการสุ่มตัวอย่างเก็บตัวอย่างข้าวสารที่วางจำหน่ายบริเวณเขตเทศบาลเมือง ในเขตภาคเหนือของประเทศไทยจำนวน 44 ชนิด พบว่าการปนเปื้อนตะกั่วเฉลี่ยอยู่ในช่วงระหว่าง ND-0.153 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งยังจัดว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ (Wachirawongsakorn et al., 2017) นอกจากนี้ ยังมีรายงานการปนเปื้อนตะกั่วในพื้นที่นาข้าวบริเวณลุ่มน้ำแยงซี ประเทศจีน พบว่าการปนเปื้อนตะกั่วในเมล็ดข้าวเฉลี่ย  $0.098 \pm 0.003$  มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (มีค่าอยู่ในช่วง 0.039-0.233 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) (Mao et al., 2019) สำหรับในพื้นที่เมืองย่างกุ้ง ประเทศพม่ามี รายงานการปนเปื้อนตะกั่วในข้าว  $0.0097 \pm 0.0082$  มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (มีค่าอยู่ในช่วง 0.0007-0.0374 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) (Myat Soe et al., 2023) นอกจากนี้ ยังพบว่าข้าวทั้ง 5 สายพันธุ์นี้มีการปนเปื้อนของแคดเมียมและแมงกานีส โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.061-0.100 และ  $26.63 \pm 5.37$  มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยปริมาณแคดเมียมไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานทั้งหมดเมื่อเปรียบเทียบกับประกาศของกระทรวง

สาธารณสุข และมาตรฐานของ ECC ที่กำหนดไว้ให้เมล็ดข้าวมีค่าการปนเปื้อนแคดเมียมสูงสุดได้ไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัม/กิโลกรัม รวมถึงมาตรฐานของ FAO/WHO กำหนดไว้ ซึ่งให้ค่าการปนเปื้อนแคดเมียมสูงสุดได้ไม่เกิน 0.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งจะเห็นว่าปริมาณที่ไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานเช่นเดียวกันกับการศึกษาการปนเปื้อนแคดเมียมในข้าวที่วางจำหน่ายบริเวณเขตเทศบาลเมืองในเขตภาคเหนือของประเทศไทยว่ามีการปนเปื้อนแคดเมียมเฉลี่ยอยู่ในช่วงระหว่าง 0.001-0.147 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (Wachirawongsakorn et al., 2017) ทั้งนี้ การปนเปื้อนแคดเมียมในเมล็ดข้าวยังมีความสอดคล้องกับในประเทศพม่า ซึ่งมีรายงานถึงการปนเปื้อนของแคดเมียมในเมล็ดข้าวจำนวน 120 ตัวอย่าง ที่ปลูกในพื้นที่ทั่วไปในเมืองย่างกุ้ง ประเทศพม่า นั้นมีค่าอยู่ในช่วง 0.0003-0.0168 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $0.0056 \pm 0.0037$  มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Myat Soe et al., 2023) ส่วนปริมาณแมงกานีสในข้าวทั้ง 5 สายพันธุ์นั้นจะเห็นได้ว่ามีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานของ ANZECC ( $\leq 5$  มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) แต่ไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานของ FAO/WHO กำหนดไว้ ( $\leq 500$  มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ทั้งนี้ การใส่ปุ๋ยแมงกานีสเป็นการเพิ่มปริมาณแมงกานีสในฟางและเมล็ดข้าวในช่วงปลายของการเติบโตอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.01$ ) โดยได้พบการสะสมแมงกานีสในเมล็ดข้าว  $27.9 \pm 3.7$  มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งมีความเป็นไปได้สูงกว่าในช่วงที่มีการเก็บตัวอย่างที่เป็นช่วงของการเก็บเกี่ยว ซึ่งเปรียบได้กับเป็นช่วงปลายของการเจริญเติบโตจึงทำให้ตัวอย่างที่เก็บมานั้นมีปริมาณแมงกานีสที่สูงตามไปด้วย จากการศึกษาจะเห็นว่าปริมาณแคดเมียมที่ปนเปื้อนในข้าวมีปริมาณน้อยแต่มีแมงกานีสในปริมาณที่สูง ซึ่งปริมาณแคดเมียมในข้าวจะลดลงได้เมื่อมีการใส่ปุ๋ยที่มีแมงกานีสเป็นส่วนประกอบ (Yin et al., 2017; Wu et al., 2021) อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาศักยภาพในการสะสมโลหะหนักจากดินสู่พืชเป็นตัวบ่งชี้ที่สำคัญของพืชในการแสดงความสามารถในการดูดซับโลหะหนัก การถ่ายโอนธาตุอาหารและโลหะหนักต่าง ๆ จากดินสู่พืชเป็นเส้นทางสำคัญที่มนุษย์ได้รับโลหะหนักที่เป็นพิษผ่านห่วงโซ่อาหาร โดยหากมีค่าศักยภาพการสะสมโลหะหนักทางชีวภาพ (BAF) มากกว่า 1 แสดงว่าพืชนั้น ๆ มีการสะสมโลหะหนัก (Satachon, 2019) ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า BAF ของโลหะหนักทุกชนิดในพันธุ์ข้าวทั้งหมด 5 สายพันธุ์นี้มีค่าน้อยกว่า 1 ซึ่งถือได้ว่าข้าวแต่ละสายพันธุ์ไม่มีโอกาสที่จะเป็นพืชกลุ่ม Hyperaccumulator กล่าวคือเป็นพืชบำบัด (phytoremediation) ซึ่งจะทำให้ผู้บริโภคมีความเสี่ยงต่อการได้รับการสะสมโลหะหนักจากการบริโภคข้าวได้ (Phuekvilai et al., 2018)

### สรุปผลการวิจัย

ดินนาที่ใช้ปลูกข้าวนาปรัง ได้แก่ กข41, กข49, กข51, กข79 และ กข85 ในพื้นที่จังหวัดพิษณุโลกมีคุณสมบัติของดินทั่วไปเหมาะสมสำหรับการเพาะปลูกข้าว แต่มีปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในปริมาณที่ต่ำมาก สำหรับการปนเปื้อนโลหะหนักในดินน่ายังจัดว่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ ส่วนการปนเปื้อนโลหะหนักในเมล็ดข้าวนั้น พบการปนเปื้อนตะกั่วในข้าว กข41 เกินเกณฑ์

มาตรฐานที่ประกาศของกระทรวงสาธารณสุขกำหนดให้ว่าควรมีตะกั่วในเมล็ดข้าวได้ไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และข้าวทั้ง 5 สายพันธุ์มีการปนเปื้อนแมงกานีสที่เกินเกณฑ์มาตรฐานที่ Australian and New Zealand Environment and Conservation (ANZECC) กำหนดไว้ไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม อย่างไรก็ตาม ยังจัดว่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานของ FAO/WHO ที่กำหนดให้มีปริมาณแมงกานีสในข้าวได้ไม่เกิน 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนการปนเปื้อนของแคดเมียม ทองแดง และสังกะสีในเมล็ดข้าวที่อยู่ในระดับที่ไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ เมื่อพิจารณาความปลอดภัยของพันธุ์ข้าวที่ปลูกเพื่อใช้บริโภคจะเห็นได้ว่าทุกสายพันธุ์ดังกล่าวมีความปลอดภัย ไม่มีสายพันธุ์ใดที่จัดเป็นพืชในกลุ่ม Hyperaccumulation เนื่องจากมีค่า BAF<1 อย่างไรก็ตาม ยังมีความจำเป็นต้องให้ความระมัดระวังในกระบวนการเพาะปลูกข้าวให้ปลอดภัยเนื่องจากระดับการปนเปื้อนของตะกั่วและแมงกานีสยังเกินค่ามาตรฐาน เกษตรกรควรมีการควบคุมให้มีการสะสมโลหะหนักในดินให้น้อยที่สุดเพื่อลดผลกระทบต่อสุขภาพของผู้บริโภคในระยะยาวต่อไป

#### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงครามที่สนับสนุนทุนวิจัยภายใต้แหล่งทุนสนับสนุนงานพื้นฐาน (Fundamental Fund; FF) ประจำปีงบประมาณ 2565 รหัสโครงการ RDI-1-65-03 อีกทั้งขอขอบคุณหลักสูตรสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมและศูนย์วิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือในการดำเนินการวิจัย รวมถึงเกษตรกรผู้ปลูกข้าวในจังหวัดพิษณุโลกที่ให้ความอนุเคราะห์ในการให้เข้าเก็บตัวอย่างดินและข้าวในพื้นที่นา ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

#### เอกสารอ้างอิง

- Agricultural Resource Systems Research Center. Soil fertility in rice growing areas of farmers. Available from [http://www.mcc.cmu.ac.th/agsust/lowland\\_SA/soilfertsoille\\_lowland.htm](http://www.mcc.cmu.ac.th/agsust/lowland_SA/soilfertsoille_lowland.htm). Accessed August, 2023.
- Announcement of the National Environment Board on determining soil quality standards, Volume 138, Special Section 54, Royal Gazette, March 11, 2021. [http://www.envimtp.com/info\\_pic/TT.PDF](http://www.envimtp.com/info_pic/TT.PDF).
- Bolan NS, Adriano DC, Naidu R, De La Luz Mora, M, Santiago, M. Phosphorus-Trace Element Interactions in Soil-Plant Systems. Phosphorus: Agriculture and the Environment 2005;46:317-352.
- Budaraga IK, Salihat, RA. Analysis of metals (Pb, Mn, Cd, Zn, Cu) in purple rice and purple rice stems cultivated organically using biogas slug in Padang Pariaman, West Sumatra Province. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 2021;709(2021):012071.
- Department of Agriculture. Recommendations for fertilizer for rice and cool-season cereal crops. Bangkok: Research Group on Soil Fertility and Fertilization of Temperate Rice and Cereals, 2000. [http://www.ricethailand.go.th/rkb3/Eb\\_016.pdf](http://www.ricethailand.go.th/rkb3/Eb_016.pdf).

- Fitz WJ, Wenzel WW. Arsenic transformations in the soil rhizosphere plant system: fundamentals and potential application to phytoremediation. *Journal of Biotechnology* 2002;99(3):259-278.
- Hseu ZY, Su SW, Lai HY, Guo HY, Chen TC, Chen ZS. Remediation techniques and heavy metal uptake by different rice varieties in metal-contaminated soils of Taiwan: New aspects for food safety regulation and sustainable agriculture. *Soil Science & Plant Nutrition* 2010;56(1):31-52.
- Jamil H, Theng LP, Jusoh K, Razali AM, Ali FB, Ismail BS. Speciation of heavy metals in paddy soils from selected areas in Kedah and Penang, Malaysia. *African Journal of biotechnology* 2011;10(62):13505-13513.
- Kiatayomphu S, Chaiklieng S. Health risk assessment on the consumption of lead-contaminated aquatic animals from fishery resource in the overflow marsh. *Asia-Pacific Journal of Science and Technology* 2012;17(4):671-686.
- Kongngoen S, Pansiri S. Recommendations for using fertilizer according to soil analysis values. (Revised edition). Bangkok: Rice Department, Rice Research and Development Office; 2009.
- Land Development Department. Manual for the process of chemical soil analysis analysis. Bangkok: Department Develop land; 2010.
- Land Development Department. Types of soil. Available from [http://oss101.ldd.go.th/web\\_soils\\_for\\_youth/s\\_type2.htm#:~:text=ดินเหนียว%20เป็นดินที่,เพราะเก็บน้ำได้นาน](http://oss101.ldd.go.th/web_soils_for_youth/s_type2.htm#:~:text=ดินเหนียว%20เป็นดินที่,เพราะเก็บน้ำได้นาน). Accessed August 3, 2023.
- Mao C, Song Y, Chen L, Ji J, Li J, Yuan X, et al. Human health risks of heavy metals in paddy rice based on transfer characteristics of heavy metals from soil to rice. *Catena* 2019;175:339-348.
- Myat Soe AM, Mu AA, Toyoda, K. Arsenic and heavy metal contents in white rice samples from rainfed paddy fields in Yangon division, Myanmar-Natural background levels?. *Plos One* 2023;18(3): e0283420.
- Pattanathaworn W. Study of carbon content in soil of Thailand. Bangkok: Land Development Department; 2020.
- Phuekvilai P, Sirichamorn Y, Yookongkaew N. Arsenic Accumulation of dominant herbaceous plants growing around gold mine areas. *Thai Science and Technology Journal* 2018;26(6):53-967.
- Prommee K, Namphakdee S, Tokeeree Y, Jarat C. Some soil properties and recommendations for the application of chemical fertilizers on paddy and sugarcane fields according to the soil analysis data in Sikhoraphum district, Surin province. *PSRU Journal of Science and Technology* 2021;6(1): 56-73.
- Rice Department. Work plan: Comprehensive rice marketing and production plan for 2019/20. Bangkok: Office of Rice Policy and Strategy; 2019.
- Rice Research and Development Office. Phosphorus deficiency in rice. Available from [http://www.rice-thailand.go.th/rkb3/Fertilizer\\_007.pdf](http://www.rice-thailand.go.th/rkb3/Fertilizer_007.pdf). Accessed August 7, 2023.
- Rice Research Institute. Recommendations for using chemical fertilizers in rice fields based on soil analysis values. Bangkok: Department of Agriculture, 2004. [http://library.ricethailand.go.th/images/stories/book/2019/pdf/122/brrdbook\\_122.pdf](http://library.ricethailand.go.th/images/stories/book/2019/pdf/122/brrdbook_122.pdf).
- Samakkarn K. Potential of soil carbon stock as a result of dried rice straw and rice straw ash application in rice soil. *Veridian E-Journal, Silpakorn University* 2011;4(1):931-941.

- Satachon P, Keawmoon S, Rengsungnoen P, Thummajitsakul S, Silprasit K. Source and health risk assessment of some heavy metals in non-certified organic rice farming at Nakhon Nayok Province, Thailand. *Applied Environmental Research* 2019;41(3),96-106.
- Satpathy D, Reddy MV, Dhal SP. Risk assessment of heavy metals contamination in paddy soil, plants, and grains (*Oryza sativa* L.) at the East Coast of India. *BioMed Research International*, 2014; 545473. DOI: 10.1155/2014/545473
- Soil Analysis Division. Methods for chemical soil analysis. Bangkok: Land Development Department Ministry of Agriculture and Cooperatives; 2001.
- Somsar K. (2006). Phosphorus in soil. Available from [http://www.dss.go.th/images/st-article/cp\\_9\\_2549\\_Phosphorus.pdf](http://www.dss.go.th/images/st-article/cp_9_2549_Phosphorus.pdf). Accessed October 23, 2018.
- Ubon B, Amkha S, Smakgahn K. Effects of Tillage and Plant Residue Management on Growth, Yield and Carbon Stock in Plant and Soil Under Rice Production. *Soil and fertilizer society of Thailand* 2011; 34(1-4):17-26.
- Wachirawongsakorn P, Tongyai J, Deetae, N. Assessments of heavy metal concentrations in rice grain available in Markets and Health Risk of Rice Consumers: Case study in the North of Thailand. Phitsanulok: Pibulsongkarm Rajabhat University; 2017.
- Wannasai C. Management of primary nutrients in rice fields. Phitsanulok: Phitsanulok Rice Research Center, 2004. <http://lib.doa.go.th/multim/e-book/EB00199.pdf>.
- WHO. WHO permissible limits for heavy metals in plant and soil, 1996. Available from <https://www.omicsonline.org/articles-images/2161-0525-5-334-t011.html>. Accessed December 15, 2018.
- Wu J, Li R, Lu Y, Bai Z. Sustainable management of cadmium-contaminated soils as affected by exogenous application of nutrients: A review. *Journal of Environmental Management* 2021;295:113081.
- Yin X, Zou H, Fang Y, Chen N, Yang D, Wei X. Effects of manganese fertilizer on absorption and accumulation of Cd in rice. *Environmental Science & Technology (China)* 2017;40(8):8-42.
- Yingchatchawan S. Basic soil science practice chapter. Bangkok: Office of Promotion and Training. Kasetsart University Bang Khen Campus; 1993.