

การประเมินการปนเปื้อนโลหะหนักในน้ำสำหรับ ใช้ในนาข้าวของจังหวัดพิษณุโลก

EVALUATION OF HEAVY METAL CONTAMINATION IN WATER FOR PADDY FIELDS USAGE OF PHITSANULOK PROVINCE

ปิยะดา วชิระวงศ์กร^{1*} และทองใส จามนงกร²

Piyada Wachirawongsakorn^{1*} and Tongchai Jamnongkarn²

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการปนเปื้อนโลหะหนักในน้ำสำหรับใช้ปลูกข้าวในจังหวัดพิษณุโลก โดยจะสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลที่สุบขึ้นมาใช้ในแปลงนาของเกษตรกรจำนวน 30 ราย และตัวอย่างน้ำในระบบชลประทานที่นำมาใช้ในแปลงนาของเกษตรกรจำนวน 30 ราย รวมตัวอย่างน้ำทั้งหมด 60 ตัวอย่าง ปริมาณการปนเปื้อนตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง สังกะสี แมงกานีส และเหล็ก ในตัวอย่างน้ำวิเคราะห์ด้วยเครื่องเครื่องอะตอมมิกแอ็บซอร์ปชันสเปกโตรมิเตอร์ ผลการศึกษา พบว่าน้ำที่ใช้ในการทำนาข้าวจากระบบชลประทานส่วนใหญ่มีการปนเปื้อนของโลหะหนักมากกว่าน้ำบาดาล โดยน้ำในระบบชลประทานมีการปนเปื้อนของเหล็กมากที่สุด รองลงมา คือ แมงกานีส สังกะสี ตะกั่ว แคดเมียม และทองแดง ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.606 ± 2.883 , 0.662 ± 0.516 , 0.351 ± 0.399 , 0.097 ± 0.085 , 0.050 ± 0.010 และ 0.020 ± 0.018 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งจัดว่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษสำหรับการใช้ประโยชน์ทางการเกษตร แต่ความเข้มข้นเฉลี่ยของแคดเมียมเกินเกณฑ์มาตรฐานของค่ามาตรฐานน้ำชลประทานเพื่อการเกษตรของสำนักงานคณะกรรมการพิเศษเพื่อประสานงานโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ และ Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) ในขณะที่น้ำบาดาลที่สุบขึ้นมาใช้ในการทำนามีการปนเปื้อนของเหล็กในปริมาณสูงที่สุดเช่นเดียวกัน รองลงมา คือ แมงกานีส ตะกั่ว สังกะสี ทองแดง และแคดเมียม

¹คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000

¹Faculty of Science and Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, Muang District, Phitsanulok Province 65000

²คณะวิทยาศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี 20230

²Faculty of Science at Sriracha, Kasetsart University, Sriracha Campus, Sriracha District, Chonburi Province 20230

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

Received: 13 May 2023; Revised: 11 July 2023; Accepted: 12 July 2023

DOI: <https://doi.org/10.14456/lsej.2023.24>

ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.820 ± 3.468 , 0.816 ± 0.932 , 0.248 ± 0.190 , 0.142 ± 0.239 , 0.009 ± 0.024 และ 0.001 ± 0.002 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานของสำนักงานคณะกรรมการพิเศษเพื่อประสานงานโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ และค่ามาตรฐานน้ำใต้ดินเพื่อการบริโภคของสำนักทรัพยากรน้ำบาดาล และ National Commercial Arbitration Centre (NCAC) ยกเว้นการปนเปื้อนตะกั่ว

คำสำคัญ: น้ำชลประทาน น้ำบาดาล การปนเปื้อน โลหะหนัก นาข้าว

Abstract

The purpose of this research was to assess the heavy metal contaminations in water used for paddy cultivation in Phitsanulok Province. The total of 60 water samples were randomly collected from groundwater pumped to use in the paddy fields of 30 farmers and irrigation water pumped to use in the paddy fields of 30 farmers. Contaminations of lead, cadmium, copper, zinc, manganese and iron in water samples were analyzed by atomic absorption spectrometer. The results revealed that most of irrigation water used for paddy cultivation contaminated more heavy metal contents than the groundwater. The irrigation water was contaminated with the highest iron content, followed by manganese, zinc, lead, cadmium and copper with average values of 8.606 ± 2.883 , 0.662 ± 0.516 , 0.351 ± 0.399 , 0.097 ± 0.085 , 0.050 ± 0.010 and 0.020 ± 0.018 mg/L, respectively, which is considered to be within the Pollution Control Department's standard for agricultural use, but the average cadmium content exceeded the irrigation water standard for agriculture of Office of the Royal Development Projects Board (RDPB) and FAO. The groundwater pumped for paddy cultivation also had the highest iron contamination, followed by manganese, lead, zinc, copper and cadmium, with average values of 2.820 ± 3.468 , 0.816 ± 0.932 , 0.248 ± 0.190 , 0.142 ± 0.239 , 0.009 ± 0.024 and 0.001 ± 0.002 mg/L, respectively, which was not higher than the standard of RDPB and the groundwater standards for consumption of the Department of Groundwater Resources and NCAC, except for lead contamination.

Keywords: Irrigation water, Groundwater, Contamination, Heavy metal, Paddy field

บทนำ

ข้าวเป็นสินค้าเกษตรส่งออกหลักของประเทศที่ครอบคลุมพื้นที่เพาะปลูกมากที่สุด (คิดเป็นร้อยละ 46.1 ของพื้นที่เกษตรทั้งหมดของประเทศ และประเทศไทยจัดเป็นผู้ส่งออกข้าวได้เป็นลำดับที่ 3 ของโลกในปัจจุบัน (Office of Agricultural Economics, 2021) โดยจังหวัดพิษณุโลกเป็นจังหวัดหนึ่งในเขตภาคเหนือตอนล่างที่มีพื้นที่เหมาะสมสำหรับการทำการเกษตร โดยข้าวถือเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญอันดับ 1 ในกลุ่มจังหวัดภาคเหนือตอนล่าง ซึ่งจังหวัดพิษณุโลกมีพื้นที่ปลูกข้าวและผลผลิตข้าวนาปรังสูงที่สุดอีกด้วย โดยมีพื้นที่ปลูกข้าวในปี 1,339,068 ไร่ ให้ผลผลิต 736,832 ตัน และมีพื้นที่ปลูกข้าวนาปรัง 844,203 ไร่ ให้ผลผลิต 558,955 ตัน ข้าวจึงจัดได้ว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่สำคัญทางเศรษฐกิจของจังหวัดพิษณุโลก (The Office of Strategy Management : Lower Northern Provincial Cluster 1, 2021) ทั้งนี้ กระแสในปัจจุบันและอนาคต ความต้องการของประชากรของโลกและของไทยหันมาให้ความสนใจในการบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพ อาหารที่มีความปลอดภัย ผ่านกระบวนการผลิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม มีคุณภาพได้มาตรฐานสากล ซึ่งมีแนวโน้มขยายตัวเพิ่มมากขึ้น โดยประเทศไทยได้เข้าเป็นสมาชิกขององค์การการค้าโลก (World Trade Organization: WTO) ที่มีการบังคับใช้ความตกลงด้านสุขอนามัยและสุขอนามัยพืช (Agreement on The Application of Sanitary and Phytosanitary Measures: SPS) ได้กำหนดให้ประเทศต่าง ๆ ใช้มาตรการด้านมาตรฐานและความปลอดภัยอาหาร ควบคุมการส่งออกและนำเข้าสินค้าเกษตรและอาหาร (National Bureau of Agriculture Commodity and Food Standards, 2015) รัฐบาลได้กำหนดนโยบายความปลอดภัยด้านอาหารเพื่อให้อาหารที่ผลิตและบริโภคภายในประเทศมีความปลอดภัยและได้มาตรฐานทัดเทียมสากล มีการส่งเสริมการผลิต การแปรรูปสินค้าเกษตร เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มตามระบบความปลอดภัยและได้มาตรฐาน อย่างไรก็ตาม ผลผลิตทางการเกษตรจำนวนมากในปัจจุบันยังประสบกับปัญหา โรค แมลง และสารพิษตกค้างเกินค่ามาตรฐานที่กำหนด (Maximum Residue Limits: MRL) (Phoket et al., 2016)

น้ำจัดได้ว่ามีบทบาทพื้นฐานในกระบวนการทางธรณีเคมีและชีวเคมี รวมถึงยังเป็นตัวการหลักในการนำพาและควบคุมองค์ประกอบทางเคมีที่หมุนเวียนอยู่ในระบบของน้ำในวัฏจักร อากาศ และดิน โดยมีผลพิษทางน้ำจากการปนเปื้อนโลหะหนักนั้นเป็นปัจจัยสำคัญในวงจรธรณีเคมีและคุณภาพสิ่งแวดล้อม (Abdullah & Hussain, 2016) ซึ่งโลหะหนักที่อยู่ในสิ่งแวดล้อมไม่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพและมีครึ่งชีวิตในการย่อยสลายทางชีวภาพที่ค่อนข้างยาวนาน และมียังโอกาสสะสมในระบบห่วงโซ่อาหารและส่วนต่างๆ ของร่างกาย (Muhammad et al., 2011) ซึ่งโลหะหนักบางชนิดที่มักพบปนเปื้อนในผลผลิตทางการเกษตร เช่น สังกะสี แคดเมียม ตะกั่ว และทองแดง (Kachenko and Singh, 2006) ซึ่งปัจจัยหนึ่งซึ่งส่งผลทำให้ผลผลิตทางการเกษตรเกิดการปนเปื้อนโลหะหนักได้ คือ น้ำที่ใช้ในการเกษตร โดยที่ผ่านมาได้มีรายงานที่แสดงให้เห็นว่าน้ำเป็นตัวการหนึ่งที่สำคัญที่ทำให้เกิดการสะสมโลหะหนักในดินและถ่ายทอดไปยังระบบห่วงโซ่อาหาร เช่น Radwan & Salama (2006) และ Khan et al.

(2008) การสะสมโลหะหนักในดินที่มีปริมาณสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่มีสาเหตุมาจากน้ำเสียจากระบบชลประทานได้ทำให้เกิดการปนเปื้อนในผลผลิตทางการเกษตรที่ปลูกในพื้นที่ที่ดินที่ใช้น้ำดังกล่าว ซึ่งการปนเปื้อนโลหะหนักในอาหารเป็นตัวบ่งชี้แรกในด้านความปลอดภัยและคุณภาพของอาหาร เมื่อพิจารณาถึงกระบวนการผลิตข้าวจะเห็นได้ว่าจำเป็นต้องใช้น้ำในการหล่อเลี้ยงต้นข้าวในการทำนาเกือบทุกขั้นตอน โดยนาหว่านในช่วงการทำนาปรังมีการใช้น้ำชลประทานเฉลี่ย 1,065.9 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ ในขณะที่นาหว่านมีการใช้น้ำ 960 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ สำหรับนาดำมีการใช้น้ำ 1,140 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ ซึ่งจะมีการระบายน้ำมาซึ่งในแปลงนาในหลายขั้นตอน เช่น การเตรียมแปลงช่วงไถนา การดูแลรักษาต้นกล้าจนถึงระยะต้นข้าวออกดอก การดูแลรักษาต้นข้าวในระยะต้นข้าวออกดอกถึงระยะต้นข้าวสุกแก่และเก็บเกี่ยว เป็นต้น (Pollution Control Department, 2011) ดังนั้น หากน้ำที่นำมาใช้ในการทำนามีการปนเปื้อนโลหะหนักในปริมาณที่สูงก็มีความเป็นไปได้สูงที่จะเกิดการสะสมโลหะหนักในพื้นที่ดินที่ใช้ในการทำนาได้ (Nouri et al, 2008; Abdullah and Hussai, 2016; Chaoua et al., 2019)

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงศึกษาถึงการปนเปื้อนโลหะหนักในน้ำสำหรับการใช้ในการทำนาในพื้นที่จังหวัดพิษณุโลก เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการวางแผนการป้องกันการปนเปื้อนสารพิษในนาข้าวและผลผลิตข้าว เพื่อเป็นการพัฒนาการผลิตข้าวในพื้นที่จังหวัดพิษณุโลกที่มีข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจหลักให้มีคุณภาพดีได้มาตรฐาน ปลอดภัยต่อการบริโภค และการผลิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม อันจะเป็นการยกระดับคุณภาพข้าวไทยให้อยู่ทั้งในระดับ Standard quality, Premium quality และ Luxury quality ได้ต่อไป ซึ่งจะเป็นการส่งเสริมความเชื่อมั่นในคุณภาพของข้าวสารต่อการส่งออกต่อไปในอนาคต

วิธีดำเนินการวิจัย

พื้นที่ศึกษาและกลุ่มตัวอย่าง

การศึกษานี้ดำเนินการเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลและน้ำในระบบชลประทานที่ใช้สำหรับการทำนาของเกษตรกรในพื้นที่จังหวัดพิษณุโลก ได้แก่ อำเภอพรมพิราม อำเภอบางระกำ อำเภอเมือง อำเภอวังทอง อำเภอบางกระทุ่ม อำเภอเนินมะปราง และอำเภอวัดโบสถ์ โดยสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลจากน้ำที่ใช้ในแปลงนาของเกษตรกรจำนวน 30 ราย และตัวอย่างน้ำในระบบชลประทานจากน้ำที่ใช้ในแปลงนาของเกษตรกรจำนวน 30 ราย รวมตัวอย่างน้ำสำหรับนำมาวิเคราะห์ทั้งหมด 60 ตัวอย่าง ดังแสดงตัวอย่างของสถานที่เก็บตัวอย่างในภาพที่ 1-2 (Figures 1-2)



Figure 1 Example of pumped groundwater sampling sites used for paddy cultivation in Phitsanulok province



Figure 2 Example of irrigation water sampling sites used for paddy cultivation in Phitsanulok province (A) irrigation canal system (B) sub-canal for water delivery that is transmitted from the irrigation canal system

การเก็บตัวอย่างน้ำ

ตัวอย่างน้ำบาดาลและน้ำจากระบบคลองส่งชลประทานที่ใช้ในการทำนาของเกษตรกรจะเก็บตัวอย่างน้ำจากท่อน้ำที่เกษตรกรสูบน้ำดังกล่าวเข้ามาใช้ในนาของเกษตรกร โดยรอจนกว่าระดับของการปั๊มคงที่แล้วค่อยปล่อยให้น้ำไหลทิ้งประมาณ 3-5 นาที จากนั้นจึงนำขวดไปรองรับตัวอย่างน้ำ โดยระวังไม่ให้ปากขวดสัมผัสกับปากปั๊ม แต่หากบ่อน้ำตื้นปั๊มอัตโนมัติจะเก็บตัวอย่างที่ปลายเส้นท่อหรือก๊อก (Royal Initiative Project Support Group, 2022) โดยใช้ขวดโพลีเอทิลีนซึ่งจะล้างทั้งขวดและ

ผาด้วยตัวอย่างน้ำที่จะเก็บประมาณ 2-3 ครั้ง เก็บตัวอย่างน้ำแล้วรักษาสภาพน้ำด้วยการเติมกรดไนตริกที่มีความเข้มข้น 1:1 จำนวน 1 มิลลิลิตร ต่อตัวอย่างน้ำ 250 มิลลิลิตร จากนั้นปิดฝาให้แน่นพร้อมแปะฉลากรายละเอียดของตัวอย่าง แล้วเก็บตัวอย่างน้ำในถังที่อุณหภูมิประมาณ 4 องศาเซลเซียส และรีบนำมาเตรียมสำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ (Groundwater Analysis Division, 2022) โดยงานวิจัยนี้ได้เก็บตัวอย่างน้ำในช่วงเดือนพฤษภาคม-สิงหาคม พ.ศ. 2565

การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก

ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำตัวอย่างสำหรับการทำนา ได้แก่ ตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง สังกะสี และ เหล็ก จะวิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ ตามวิธีมาตรฐาน U.S. EPA. Method 3015a (ตัวอย่างน้ำ 45 mL + 5 mL HNO_3 ที่อุณหภูมิ T1 และ T2 180°C และ Power 1800 W) สำหรับการย่อยตัวอย่างประเภทน้ำด้วยเครื่องมือ High Performance Microwave Digestion ยี่ห้อ Milestone Connect รุ่น Ethos™ UP จากนั้นกรองน้ำตัวอย่างด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออนเป็น 50 มิลลิลิตร แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrometer: AAS) ยี่ห้อ SHIMADZU รุ่น AA-6200 ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งใช้เทคนิค Flame Atomic Absorption Spectroscopy: FAAS)

การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลความเข้มข้นของโลหะหนักที่ปนเปื้อนในน้ำที่ใช้ในการทำนาใช้สถิติพรรณนา (Descriptive statistics) ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ร้อยละ และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สำหรับการเปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณการปนเปื้อนโลหะหนักระหว่างน้ำในระบบชลประทานกับน้ำบาดาลด้วยสถิติ Independent t-test ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($p \leq 0.05$)

ผลการวิจัย

คุณภาพน้ำที่ใช้ในการทำนาจากระบบชลประทาน

น้ำที่ใช้ในการทำนาจากระบบชลประทานของพื้นที่จังหวัดพิษณุโลกมีการปนเปื้อนตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง สังกะสี แมงกานีส และเหล็ก อยู่ในช่วง ND-0.381, 0.030-0.069, ND-0.071, 0.035-1.421, 0.071-2.105 และ 1.889-12.113 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยมีการปนเปื้อนของเหล็กมากที่สุด รองลงมา คือ แมงกานีส สังกะสี ตะกั่ว แคดเมียม และทองแดง ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.606 ± 2.883 , 0.662 ± 0.516 , 0.351 ± 0.399 , 0.097 ± 0.085 , 0.050 ± 0.010 และ 0.020 ± 0.018 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการปนเปื้อนโลหะหนักในน้ำชลประทานที่ใช้ในการทำนาดังกล่าวกับค่ามาตรฐานน้ำชลประทานเพื่อการเกษตรของสำนักงานคณะกรรมการพิเศษเพื่อประสานงานโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ พบว่า ปริมาณความเข้มข้นของทองแดง สังกะสี และแมงกานีสในทุกจุดสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำในระบบชลประทานผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนระดับความเข้มข้นของตะกั่วและแคดเมียมในน้ำในระบบชลประทานนั้นผ่านเกณฑ์มาตรฐานเพียงร้อยละ 66.67 และ

3.33 ตามลำดับ ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานน้ำผิวดินประเภทที่ 3 สำหรับการใช้ประโยชน์เพื่อการเกษตรนั้นจะเห็นได้ว่าน้ำชลประทานที่ใช้ในการทำนามีปริมาณการปนเปื้อนของตะกั่วและแคดเมียมเท่านั้นที่ผ่านเกณฑ์ไม่ถึงร้อยละ 50 ส่วนการปนเปื้อนของทองแดง สังกะสี และแมงกานีสผ่านเกณฑ์ถึงร้อยละ 100 86.67 และ 86.67 ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณการปนเปื้อนของน้ำในระบบชลประทานเพื่อการทำนากับค่ามาตรฐาน FAO จะเห็นได้ว่าระดับการปนเปื้อนของตะกั่วและสังกะสีมีปริมาณที่ไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ทั้งหมด ส่วนปริมาณการปนเปื้อนของทองแดง แมงกานีสและเหล็กผ่านค่าเกณฑ์มาตรฐานเพียงร้อยละ 70.00, 13.33 และ 16.67 ตามลำดับ ในขณะที่ปริมาณแคดเมียมที่ปนเปื้อนในน้ำชลประทานนั้นไม่มีจุดใดเลยที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานดังกล่าว ดังตารางที่ 1 และภาพที่ 3-8 (Table 1 and Figures 3-8)

คุณภาพน้ำที่ใช้ในการทำนากจากการสูบน้ำบาดาล

น้ำบาดาลที่เกษตรกรผู้ปลูกข้าวสุบขึ้นมาเพื่อใช้ในการทำนาข้าวในพื้นที่จังหวัดพิษณุโลก มีการปนเปื้อนของเหล็กในปริมาณสูงที่สุด รองลงมา คือ แมงกานีส ตะกั่ว สังกะสี ทองแดง และแคดเมียม ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.820 ± 3.468 , 0.816 ± 0.932 , 0.248 ± 0.190 , 0.142 ± 0.239 , 0.009 ± 0.024 และ 0.001 ± 0.002 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งปริมาณแคดเมียม ทองแดง และสังกะสีในน้ำบาดาลที่ใช้สำหรับทำนามีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล ค่ามาตรฐานน้ำบาดาลของ North Carolina Environmental Quality และน้ำเพื่อการเกษตรของสำนักงานคณะกรรมการพิเศษเพื่อประสานงานโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริเกือบทั้งหมดทุกจุด โดยมีปริมาณการปนเปื้อนอยู่ในช่วง ND-0.006, ND-0.102 และ ND-1.241 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนการปนเปื้อนแมงกานีสในน้ำบาดาลที่เกษตรกรผู้ปลูกข้าวนำมาใช้ทำนานั้นผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลของกรมทรัพยากรน้ำบาดาลเพียงร้อยละ 46.67 แต่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานอื่นๆ กว่าร้อยละ 70 ส่วนปริมาณการปนเปื้อนตะกั่วในส่วนใหญ่นั้นจะมีค่าเกินเกณฑ์อนุโลมสูงสุดที่กำหนดไว้โดยมีน้ำตัวอย่างไม่ถึงร้อยละ 25 เท่านั้นที่มีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานทั้งหมด ดังตารางที่ 2 และภาพที่ 3-8 (Table 2 and Figures 3-8)

การเปรียบเทียบคุณภาพน้ำทำนากจากระบบน้ำชลประทานและน้ำบาดาล

การปนเปื้อนโลหะหนักหนักในน้ำสำหรับใช้ทำนากจากระบบชลประทานส่วนใหญ่มีมากกว่าการสูบน้ำบาดาลขึ้นมาใช้ในการทำนา โดยน้ำจากระบบชลประทานมีการปนเปื้อนของแคดเมียม สังกะสี และเหล็ก มากกว่าน้ำจากบาดาลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} = 0$, 0.017 และ 0 ตามลำดับ) ส่วนทองแดงนั้นมีการปนเปื้อนในน้ำระบบชลประทานมากกว่าในน้ำบาดาลแต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} = 0.060$) ดังตารางที่ 3 (Table 3) ในขณะที่ปริมาณตะกั่วและแมงกานีสที่อยู่ในน้ำบาดาลมีปริมาณสูงกว่าน้ำในระบบชลประทาน แต่มีเพียงปริมาณตะกั่วเท่านั้นที่มีปริมาณมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} = 0$ และ 0.431 ตามลำดับ)

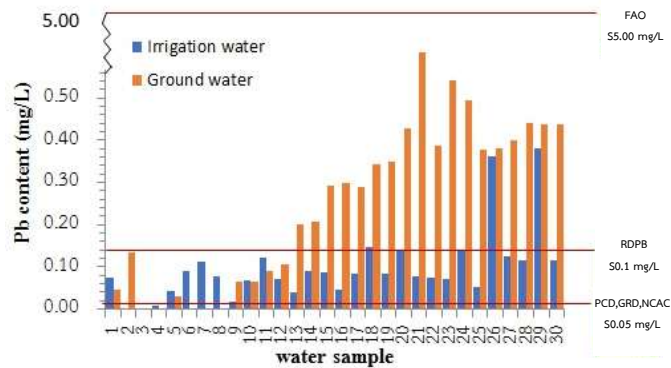


Figure 3 The amounts of lead contamination in irrigation and ground water for paddy fields usage in Phitsanulok province

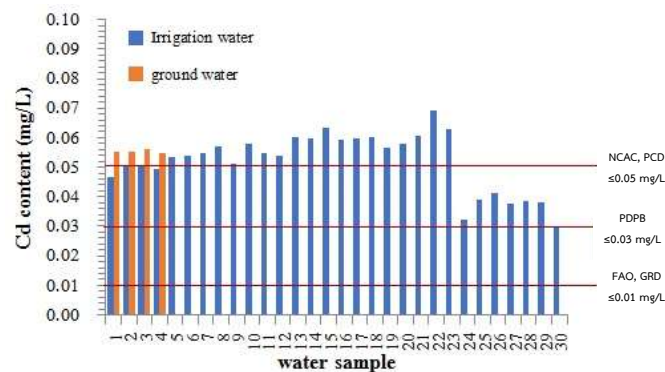


Figure 4 The amounts of cadmium contamination in irrigation and ground water for paddy fields usage in Phitsanulok province

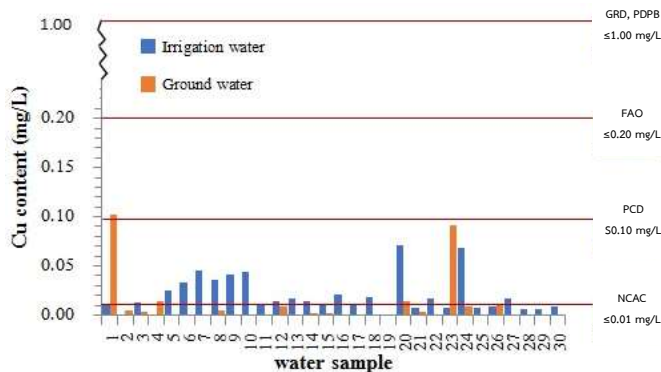


Figure 5 The amounts of copper contamination in irrigation and ground water for paddy fields usage in Phitsanulok province

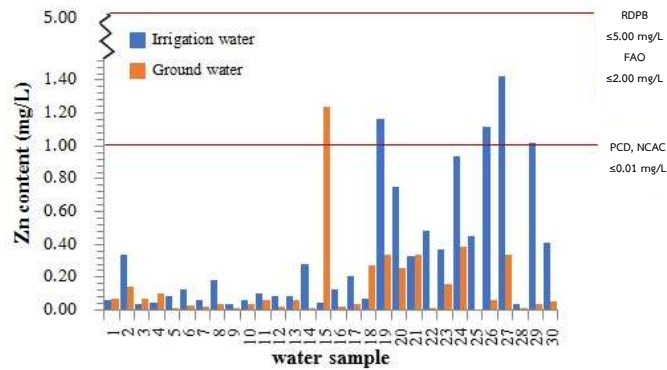


Figure 6 The amounts of zinc contamination in irrigation and ground water for paddy fields usage in Phitsanulok province

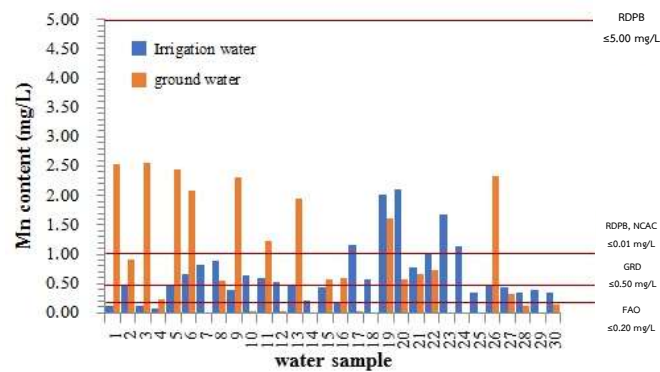


Figure 7 The amounts of manganese contamination in irrigation and ground water for paddy fields usage in Phitsanulok province

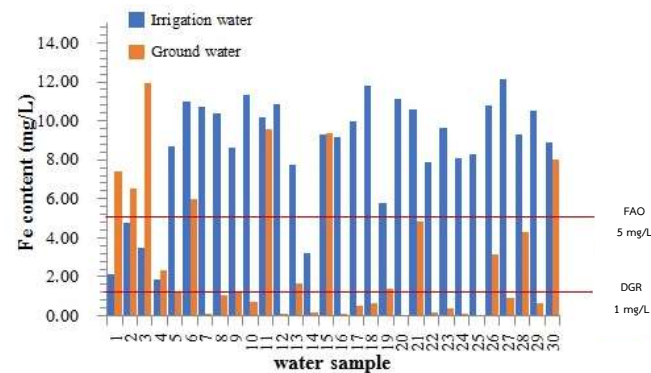


Figure 8 The amounts of iron contamination in irrigation and ground water for paddy fields usage in Phitsanulok province

Table 1 Heavy metal contents of irrigation water used in paddy fields in Phitsanulok

Sample No.	Heavy metal contaminated water for paddy field usage (mg/L) (n=3)					
	Pb	Cd	Cu	Zn	Mn	Fe
1	0.073±0.015	0.047±0.006	0.012±0.004	0.062±0.070	0.119±0.0371	2.126±0.522
2	ND	0.051±0.004	0.001±0.0003	0.341±0.070	0.464±0.0253	4.740±0.495
3	ND	0.051±0.003	0.013±0.003	0.040±0.046	0.117±0.015	3.471±0.092
4	0.007±0.004	0.049±0.004	ND	0.044±0.016	0.071±0.002	1.889±0.317
5	0.044±0.037	0.054±0.006	0.025±0.014	0.084±0.007	0.461±0.026	8.688±0.057
6	0.089±0.010	0.054±0.006	0.034±0.015	0.126±0.010	0.662±0.062	10.960±0.440
7	0.112±0.068	0.055±0.004	0.045±0.0051	0.063±0.014	0.826±0.045	10.725±0.284
8	0.079±0.002	0.057±0.008	0.036±0.018	0.184±0.058	0.882±0.086	10.353±0.984
9	0.019±0.00629	0.051±0.006	0.041±0.002	0.035±0.008	0.404±0.0462	8.611±1.432
10	0.069±0.016	0.058±0.011	0.044±0.037	0.060±0.029	0.643±0.102	11.341±0.401
11	0.121±0.067	0.055±0.005	0.011±0.004	0.106±0.005	0.596±0.022	10.152±0.067
12	0.072±0.038	0.054±0.010	0.014±0.007	0.086±0.005	0.527±0.028	10.856±0.668
13	0.039±0.009	0.060±0.006	0.017±0.005	0.085±0.006	0.460±0.024	7.751±0.190
14	0.090±0.022	0.060±0.005	0.014±0.003	0.285±0.041	0.206±0.003	3.221±0.042
15	0.088±0.009	0.063±0.002	0.011±0.003	0.043±0.006	0.428±0.051	9.276±0.484
16	0.045±0.021	0.059±0.007	0.020±0.006	0.128±0.020	0.186±0.063	9.184±0.039
17	0.082±0.028	0.060±0.004	0.010±0.003	0.205±0.006	1.162±0.025	9.973±0.519
18	0.148±0.016	0.060±0.002	0.018±0.001	0.068±0.026	0.563±0.033	11.811±0.532
19	0.085±0.042	0.057±0.004	0.001±0.0003	1.163±0.191	2.023±0.012	5.800±0.429
20	0.141±0.032	0.058±0.008	0.071±0.004	0.753±0.463	2.105±0.016	11.145±0.212
21	0.077±0.023	0.061±0.004	0.007±0.002	0.325±0.078	0.785±0.050	10.606±0.523
22	0.074±0.009	0.069±0.011	0.018±0.002	0.484±0.202	0.995±0.434	7.866±0.080
23	0.071±0.009	0.063±0.002	0.007±0.001	0.369±0.045	1.674±0.363	9.639±0.335
24	0.139±0.067	0.032±0.001	0.068±0.012	0.939±0.380	1.135±0.287	8.062±1.916
25	0.053±0.017	0.039±0.006	0.008±0.002	0.455±0.0436	0.352±0.066	8.274±0.435
26	0.363±0.149	0.041±0.002	0.009±0.002	1.119±0.081	0.467±0.022	10.786±0.466
27	0.126±0.056	0.038±0.005	0.017±0.002	1.421±0.845	0.439±0.153	12.113±0.518
28	0.114±0.052	0.039±0.006	0.007±0.001	0.040±0.002	0.347±0.061	9.306±0.356
29	0.381±0.356	0.038±0.006	0.006±0.001	1.017±0.456	0.403±0.063	10.544±0.030
30	0.115±0.068	0.030±0.007	0.010±0.002	0.409±0.069	0.348±0.026	8.925±1.036
Min.-Max.	ND-0.381	0.030-0.069	ND-0.071	0.035-1.421	0.071-2.105	1.889-12.113
Averaged	0.097±0.085	0.050±0.010	0.020±0.018	0.351±0.399	0.662±0.516	8.606±2.883
FAO std.*	5.00	0.01	0.20	2.00	0.20	5.0
PCD std.**	0.05	0.05	0.10	1.00	1.00	-
RDPB	0.10	0.03	1.00	5.00	5.00	-

Remarks * Irrigation water quality standard of FAO

** The Type III of The Surface Water Standard for agriculture use set by Pollution Control Department (PCD) of Thailand (Pollution Control Department, 2023)

*** Irrigation water quality standard for agriculture use (Office of the Royal Development Projects Board (RDPB), 2023)

ND is non-detected

Table 2 Heavy metal contents of ground water used in paddy fields in Phitsanulok

Sample	Heavy metal contaminated water for paddy field usage (mg/L) (n=3)					
No.	Pb	Cd	Cu	Zn	Mn	Fe
1	0.046±0.016	0.005±0.003	0.102±0.020	0.070±0.016	2.534±0.152	7.387±0.145
2	0.133±0.076	0.005±0.002	0.005±0.001	0.145±0.111	0.913±0.112	6.513±0.262
3	ND	0.006±0.001	0.004±0.001	0.067±0.012	2.552±0.99	11.946±0.340
4	ND	0.005±0.003	0.014±0.004	0.102±0.025	0.228±0.166	2.318±0.167
5	0.030±0.021	ND	0.001±0.001	0.017±0.003	2.443±0.068	1.262±0.954
6	ND	ND	0.001	0.030±0.002	2.078±0.097	5.986±0.772
7	ND	ND	ND	0.022±0.002	ND	0.083±0.016
8	ND	ND	0.005±0.001	0.040±0.010	0.544±0.092	1.081±0.006
9	0.065±0.052	ND	ND	0.012±0.005	2.309±0.238	1.183±0.040
10	0.065±0.004	ND	ND	0.034±0.011	0.013±0.002	0.724±0.144
11	0.092±0.012	ND	ND	0.058±0.013	1.238±0.071	9.555±0.381
12	0.106±0.040	ND	0.009±0.004	0.021±0.002	0.013±0.003	0.133±0.159
13	0.202±0.023	ND	0.001±0.001	0.064±0.007	1.955±0.275	1.627±0.371
14	0.206±0.019	ND	0.001±0.001	0.014±0.002	ND	0.164±0.039
15	0.292±0.016	ND	0.002±0.001	1.241±0.034	0.563±0.029	9.375±0.287
16	0.297±0.029	ND	ND	0.017±0.001	0.594±0.092	0.117±0.043
17	0.289±0.018	ND	ND	0.036±0.007	0.016±0.011	0.542±0.668
18	0.342±0.026	ND	ND	0.271±0.066	ND	0.647±0.060
19	0.349±0.021	ND	ND	0.340±0.021	1.600±0.031	1.371±0.091
20	0.429±0.030	ND	0.014±0.006	0.252±0.011	0.584±0.071	0.065±0.006
21	0.607±0.082	ND	0.004±0.001	0.334±0.023	0.654±0.017	4.828±0.850
22	0.389±0.012	ND	0.001±0.001	0.009±0.005	0.724±0.036	0.184±0.012
23	0.540±0.052	ND	0.092±0.008	0.155±0.005	ND	0.363±0.064
24	0.495±0.015	ND	0.009±0.001	0.390±0.006	ND	0.093±0.003
25	0.379±0.015	ND	ND	0.005	ND	ND
26	0.379±0.019	ND	0.011±0.001	0.060±0.010	2.333±0.144	3.154±0.125
24	0.400±0.008	ND	ND	0.340±0.003	0.318±0.002	0.917±0.119
28	0.441±0.056	ND	ND	0.015±0.003	0.133±0.017	4.313±0.231
29	0.437±0.007	ND	ND	0.040±0.003	ND	0.662±0.063
30	0.438±0.029	ND	ND	0.051±0.016	0.145±0.006	7.999±0.304
Min.-Max.	ND-0.607	ND-0.006	ND-0.102	ND-1.241	ND-2.552	ND-11.946
Averaged	0.248±0.190	0.001±0.002	0.009±0.024	0.142±0.239	0.816±0.932	2.820±3.468
DGR std.*	0.05	0.01	1.00	15	0.5	1
NCAC std.**	0.05	0.05	0.10	1.00	1.00	-
RDPB	0.10	0.03	1.00	5.00	5.00	-

Remarks * Groundwater quality standard set by Department of Groundwater Resources (DGR) (Maximum allowance) (Bureau of Groundwater Resources Region 8 (Ratchaburi), 2023)

** Groundwater quality standard set by North Carolina Environmental Quality (NCAC) (15A.NCAC.02L.0202) (North Carolina Environmental Quality, 2023)

*** Irrigation water quality standard for agriculture use (Office of the Royal Development Projects Board (RDPB), 2023), ND is non-detected

Table 3 The different of heavy metal contents in irrigation water and ground water used in paddy fields in Phitsanulok

Heavy metal in water	Heavy metal contents		T-Test	
	Mean±S.D. (mg/L)	Mean difference	t-value	p-value
Pb				
Irrigation water	0.10±0.08	-0.15	-3.98	.000*
Ground water	0.25±0.19			
Cd				
Irrigation water	0.052±0.098	0.04	11.39	.000*
Ground water	0.007±0.019			
Cu				
Irrigation water	0.019±0.018	0.01	1.92	.060
Ground water	0.009±0.024			
Zn				
Irrigation water	0.35±0.39	0.21	2.47	.017*
Ground water	0.14±0.24			
Mn				
Irrigation water	0.66±0.52	-0.15	-0.79	.431
Ground water	0.82±0.93			
Fe				
Irrigation water	8.61±2.88	5.79	7.03	.000*
Ground water	2.82±3.47			

Remarks n = 30 irrigation water samples and 30 ground water samples, * significant at 0.05 level

อภิปรายผล

น้ำที่ใช้ในการทำนาข้าวในพื้นที่จังหวัดพิษณุโลกนอกจากการพึ่งพาน้ำฝนตามธรรมชาติแล้วยังได้มาจาก 2 แหล่งหลักที่สำคัญ คือ น้ำจากระบบชลประทาน และน้ำบาดาล ทำให้เกษตรกรสามารถทำนาข้าวในช่วงฤดูแล้งหรือช่วงเวลาที่ขาดแคลนน้ำได้ จากการตรวจสอบคุณภาพน้ำจากการปนเปื้อนโลหะหนัก พบว่าน้ำที่ใช้ในการทำนาข้าวจากระบบชลประทานส่วนใหญ่มีการปนเปื้อนของโลหะหนักมากกว่าน้ำบาดาล โดยน้ำในระบบชลประทานมีการปนเปื้อนของเหล็กมากที่สุด รองลงมา คือ แมงกานีส สังกะสี ตะกั่ว แคดเมียม และทองแดง ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.606 ± 2.883 , 0.662 ± 0.516 , 0.351 ± 0.399 , 0.097 ± 0.085 , 0.050 ± 0.010 และ 0.020 ± 0.018 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งปริมาณค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของโลหะหนักจัดว่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษสำหรับการใช้ประโยชน์ทางการเกษตรยกเว้นตะกั่ว และจะมีความเข้มข้นเฉลี่ยของแคดเมียมที่เกินเกณฑ์มาตรฐานของค่ามาตรฐานน้ำชลประทานเพื่อการเกษตรของสำนักงานคณะกรรมการพิเศษเพื่อประสานงานโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ และ FAO ในขณะที่น้ำบาดาลที่เกษตรกรผู้ปลูกข้าวสุบขึ้นมาใช้ใน

การทำนามีการปนเปื้อนของเหล็กในปริมาณสูงที่สุดเช่นเดียวกัน รองลงมา คือ แมงกานีส ตะกั่ว สังกะสี ทองแดง และแคดเมียม ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.820 ± 3.468 , 0.816 ± 0.932 , 0.248 ± 0.190 , 0.142 ± 0.239 , 0.009 ± 0.024 และ 0.001 ± 0.002 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งระดับค่าเฉลี่ยความเข้มข้นดังกล่าวไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานของน้ำสำหรับใช้ทางการเกษตรของสำนักงานคณะกรรมการพิเศษเพื่อประสานงานโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ และค่ามาตรฐานน้ำใต้ดินของสำนักทรัพยากรน้ำบาดาลสำหรับการบริโภค และ NCAC ยกเว้นตะกั่ว ทั้งนี้ อาจเป็นไปได้ว่าน้ำในระบบชลประทานซึ่งเป็นการนำน้ำจากแหล่งกักเก็บน้ำไปสู่พื้นที่เพาะปลูกด้วยระบบส่งน้ำและระบบกระจายน้ำในไร่นาซึ่งเป็นระบบคลองและคูส่งน้ำเป็นส่วนใหญ่ น้ำที่ถูกปล่อยจากแหล่งกักเก็บได้การระบายส่งผ่านพื้นที่เกษตรและพื้นที่ปลูกข้าวที่มีการใช้สารเคมีทางการเกษตรจำนวนมาก ซึ่งมีความเป็นไปได้ว่าสารเคมีทางการเกษตรที่มีโลหะหนักเป็นองค์ประกอบจะมีการชะล้างและไหลผ่านระบบส่งน้ำไปยังพื้นที่นาต่าง ๆ ได้ด้วย ซึ่งสอดคล้องกับ Thongkrua (2020) ที่ได้ทำสำรวจคุณภาพน้ำสำหรับใช้ในการปลูกข้าวหอมมะลิในพื้นที่ลุ่มน้ำโขงเหนือ ซึ่งได้ดำเนินการศึกษาในพื้นที่จังหวัดพะเยา โดยได้ทำการสำรวจทั้งแหล่งกักเก็บน้ำและน้ำในระบบคลองระบายน้ำ ซึ่งพบว่าน้ำในอ่างเก็บน้ำห้วยตาดชะ ห้วยชมพู และห้วยผาหีบมีการปนเปื้อนสังกะสี>ทองแดง>แคดเมียม>ตะกั่ว ซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.041-0.086, 0.021-0.036, 0.010-0.040 และ ตรวจไม่พบ (ND) มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ แต่เมื่อตรวจวัดในคลองระบายน้ำในพื้นที่เพาะปลูกข้าวก็พบว่าปริมาณโลหะหนักที่เพิ่มขึ้นโดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.069-0.090, 0.031-0.036, 0.388-4.429 และ ND มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าถึงน้ำจากแหล่งกักเก็บจะมีคุณภาพที่ดีได้มาตรฐานแต่เมื่อมีการส่งน้ำไปตามคลองต่าง ๆ ส่งผลทำให้น้ำจากแหล่งกักเก็บเกิดการปนเปื้อนสารเคมีทางการเกษตรที่เกษตรกรผู้ปลูกข้าวใช้ในพื้นที่ดังกล่าว ซึ่งสารเคมีเหล่านั้นมีโลหะหนักเป็นองค์ประกอบและมีความคงตัวในสิ่งแวดล้อมสูงทำให้น้ำมีการปนเปื้อนของโลหะหนักที่สูงขึ้น โดยเฉพาะแคดเมียมที่มีปริมาณสูงขึ้นอย่างมาก นอกจากนี้ Dissanayake and Chandrajith (2009) พบว่าปุ๋ยฟอสเฟตชนิดละลายน้ำได้เร็ว หรือปุ๋ยทริเบิลซูเปอร์ฟอสเฟต (Triple Superphosphate, TSP) ที่ชาวนานิยมใช้กันมีการปนเปื้อนของแคดเมียม ตะกั่ว นิกเกิล โครเมียม และอลูมิเนียมในปริมาณสูงเมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยยูเรียและปุ๋ย NPK นอกจากนี้ ยังพบว่ามีแคดเมียม โปรท ตะกั่ว ยูเรเนียม และโครเมียมจำนวนมากอยู่ในผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้ายของปุ๋ยฟอสเฟตที่ขายทั่วไปในตลาด ทั้งนี้ Hindarwati et al. (2018) ระบุว่าทำให้ปุ๋ยเคมีเพื่อให้ธาตุอาหารบางชนิดในรูปของสารประกอบอินทรีย์ที่มีความเข้มข้นสูงและละลายน้ำได้ง่ายหรือการใช้สารเคมีทางการเกษตรสามารถทำให้เกิดการปนเปื้อนของโลหะหนักในทางน้ำได้ เช่น ระบบชลประทานหรือระบบการส่งน้ำผ่านคลองทุ่งต่าง ๆ ที่ผ่านเข้าออกนาข้าวแต่ละแห่ง รวมถึงน้ำใต้ดินหากทำซ้ำ ๆ โดยมีรายงานการวิจัยที่ได้บ่งชี้ให้เห็นว่าในการใช้สารเคมีในการทำนานั้นส่งผลทำให้การปนเปื้อนโลหะหนักในน้ำมีปริมาณเพิ่มขึ้นได้ เช่น Kingsawat & Roachanakanan (2011) ศึกษาคุณภาพน้ำที่ใช้ในการทำนาในคลองประดู่และปี่ลือก จังหวัดสมุทรสงคราม พบปริมาณ

แคลเซียม ทองแดง และสังกะสี มีค่าอยู่ในช่วงเท่ากับ 0.0001-0.0005, 0.003-0.008 และ 0.005-0.042 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และมีค่าความเข้มข้นของโลหะหนักเหล่านี้ที่สูงขึ้นในแปลงนา เช่นเดียวกับ Dissanayake et al. (2023) ซึ่งจากการตรวจสอบคุณภาพน้ำที่นำมาใช้ในการทำนาในเมือง ทรินโคมาลี ประเทศศรีลังกา ก่อนที่จะมีการใส่สารเคมีทางการเกษตรมีการปนเปื้อนแคลเซียม ตะกั่ว ทองแดง และสังกะสี เฉลี่ยเท่ากับ 0.014 ± 0.014 , ND, 1.583 ± 0.397 และ ND ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ แต่เมื่อมีการใส่สารเคมีทางการเกษตรในนาข้าวทำให้น้ำมีความเข้มข้นของโลหะหนักดังกล่าวเพิ่มขึ้นเป็น 0.371 ± 0.192 , 4.212 ± 0.712 , 1.262 ± 0.165 และ 6.404 ± 0.366 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการปนเปื้อนของแคลเซียม ตะกั่ว และสังกะสีในน้ำก่อนและหลังใช้สารเคมีทางการเกษตรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($p < 0.001$) ซึ่งผลจากการสำรวจระบบคลองชลประทานในพื้นที่ศึกษาเชื่อมโยงถึงกันโดยคลองส่งน้ำ คลองทุ่ง และคลองระบายน้ำ คลองทุ่งและคลองระบายน้ำเป็นคลองส่งน้ำขนาดเล็กที่องค์กรเกษตรกรออกแบบเพื่อใช้และระบายน้ำออกจากนาตามลำดับ คลองทุ่งและคลองระบายน้ำเหล่านี้ได้รับการปนเปื้อนของสารเคมีต่าง ๆ จากกระบวนการทำนาเนื่องจากเป็นคลองที่เชื่อมต่อโดยตรงกับพื้นที่นา สารเคมีเกษตรที่ใช้กับนาข้าวจะปนเปื้อนในน้ำและถูกระบายลงสู่คลองพร้อมกับน้ำ ซึ่ง US EPA ได้รายงานว่าการปนเปื้อนที่เข้าสู่แหล่งน้ำไหลจะเดินทางเป็นระยะทางหนึ่งก่อนที่จะผสมกันอย่างทั่วถึงตลอดการไหล (Perera et al., 2016) ดังนั้นสารเคมีที่พบในคลองทุ่งและคลองระบายน้ำที่ระบายไปยังแหล่งน้ำผิวดินอื่น ๆ จะสามารถพบโลหะหนักที่มีความเข้มข้นค่อนข้างสูงได้เช่นเดียวกัน นอกจากนี้ยังมีการศึกษาที่บ่งชี้ให้เห็นถึงการปนเปื้อนโลหะหนักในน้ำระบบชลประทานที่ใช้ในการปลูกข้าวมีค่าที่เกินเกณฑ์มาตรฐาน โดย Chyad et al. (2022) ได้พบว่าน้ำในระบบชลประทานที่ใช้ในการปลูกข้าวในประเทศอิรักมีการปนเปื้อนของตะกั่ว แคลเซียม ทองแดง เหล็ก และแมงกานีส เกินค่ามาตรฐานที่ FAO กำหนดไว้ในทุกตัวอย่าง โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.626-1.332, 0.050-0.665, 0.005-0.007, 0.452-0.678 และ 0.967-1.352 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และ Adesokan et al. (2021) ได้ตรวจสอบคุณภาพน้ำที่ใช้ในการทำนาในเมืองไอบิส รัฐโอกัน ประเทศไนจีเรีย พบว่ามีปริมาณสังกะสี ทองแดง และตะกั่ว อยู่ในช่วง 1.25-5.00, 1.25-4.25 และ ND-5.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเกินค่ามาตรฐานที่ WHO และ USEPA กำหนดไว้ อย่างไรก็ตามค่ามาตรฐานดังกล่าวเป็นค่ามาตรฐานสำหรับน้ำดื่ม ยังไม่มีค่ามาตรฐานโลหะหนักสำหรับใช้ในการทำการเกษตรเฉพาะ ส่วนน้ำบาดาลที่เกษตรกรผู้ปลูกข้าวสูบน้ำขึ้นมาใช้ในนาข้าว นั้นจะไม่ได้ผ่านระบบคลองส่งน้ำ คลองทุ่ง หรือคลองระบายน้ำแต่เป็นการสูบน้ำมาและปล่อยสู่นาข้าวของเกษตรกรผู้ปลูกข้าวแต่ละรายเองจึงอาจทำให้การปนเปื้อนโลหะหนักมีปริมาณที่น้อยกว่า ซึ่งการปนเปื้อนโลหะหนักในน้ำบาดาลนั้นจะเกิดขึ้นจากสภาพปัจจัยทางธรรมชาติเอง หรือปัจจัยของสภาพแวดล้อมของแหล่งน้ำบาดาลนั้น ๆ อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่าน้ำบาดาลส่วนใหญ่มีปริมาณตะกั่วที่เกินเกณฑ์ค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้และมีค่าสูงกว่าในแหล่งน้ำจากระบบชลประทาน แต่ก็ถือว่ายังมีค่าที่ต่ำกว่าปริมาณตะกั่วและแคลเซียมใน

น้ำบาดาลที่ใช้ในพื้นที่ที่มีการปลูกข้าวแบบใช้สารเคมีทางการเกษตรในตำบลป่าโมง อำเภอลำลูกขัน จังหวัดอุบลราชธานี โดยมีปริมาณตะกั่วและแคดเมียมอยู่ในช่วง 0.092-0.498 และ 0.010- 0.136 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเกินมาตรฐานที่กำหนดไว้ในน้ำบาดาล (Boonpairose, 2010) และผลการศึกษาการปนเปื้อนโลหะหนักในน้ำบาดาลที่ใช้ทำนาในพื้นที่จังหวัดพิษณุโลกยังสอดคล้องกับ Chirasatienpon et al. (2019) ที่รายงานว่าโลหะหนักที่พบในน้ำบาดาลทั่วไปจะมีปริมาณเหล็กและแมงกานีสที่สูง และผลจากการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำบาดาลในภาคกลางของประเทศไทยยังสามารถพบตะกั่ว ปปรอท และสารหนูสูงกว่าภาคอื่น ๆ อย่างไรก็ตาม การใช้ระบบน้ำในนาไม่ว่าจะเป็นระบบชลประทานหรือระบบการสูบน้ำจากน้ำบาดาล หากมีการผันน้ำผ่านตามคลองส่งน้ำ คลองทุ่ง และคลองระบายน้ำเชื่อมต่อโดยตรงกับพื้นที่นาหนึ่งไปยังพื้นที่นาอื่น ๆ ย่อมมีความเป็นไปได้สูงที่จะเกิดการปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำได้ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำที่ใช้ในการเกษตรเพื่อป้องกันการสะสมในดิน เพราะโลหะหนักสามารถเคลื่อนย้ายจากดินและน้ำไปสู่พืชจากการดูดซึมทางรากและสะสมในเนื้อเยื่อพืช และถ่ายทอดไปยังระบบห่วงโซ่อาหาร ซึ่งก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพได้ ดังนั้นการพิจารณาถึงการใช้เทคโนโลยีที่เป็นนวัตกรรมเพื่อเตรียมระบบชลประทานและการจัดการทรัพยากรน้ำที่ตอบสนองความต้องการในการพัฒนาเศรษฐกิจและการเกษตรในอนาคตเพื่อลดการตกค้างและสะสมโลหะหนักจึงเป็นสิ่งที่ต้องให้ความสำคัญอย่างมาก

สรุปผลการวิจัย

คุณภาพน้ำจากการพิจารณาการปนเปื้อนโลหะหนักที่ใช้ในการทำนาในพื้นที่จังหวัดพิษณุโลกนั้นจะเห็นได้ชัดเจนน่าน้ำจากระบบชลประทานที่มีการส่งผ่านน้ำผ่านคูคลองมีการปนเปื้อนโลหะหนักมากกว่าน้ำบาดาลที่เกษตรกรผู้ปลูกข้าวสูบน้ำขึ้นมาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การปนเปื้อนเฉลี่ยของทองแดง สังกะสี แมงกานีส และเหล็กในน้ำที่ใช้ในการทำนาทั้งในน้ำจากระบบชลประทานและน้ำจากบาดาลมีค่าเฉลี่ยยังอยู่ในเกณฑ์สูงสุดที่ยอมรับได้สำหรับคุณภาพน้ำเพื่อการเกษตร แต่สำหรับปริมาณการปนเปื้อนแคดเมียมในน้ำในระบบชลประทาน และปริมาณการปนเปื้อนตะกั่วในน้ำที่สูบน้ำจากน้ำบาดาลยังมีค่าเฉลี่ยที่จัดว่าเกินเกณฑ์อนุโลมสูงสุดที่ยอมให้มีได้สำหรับการทำการเกษตร อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาเป็นสัดส่วนของจำนวนตัวอย่างที่มีปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนักผ่านเกณฑ์มาตรฐานนั้น ยังพบว่าตะกั่วและแคดเมียมในน้ำในระบบชลประทานนั้นผ่านเกณฑ์มาตรฐานเพียงร้อยละ 40 และ 6.67 ตามลำดับ ในขณะที่ปริมาณการปนเปื้อนตะกั่วในน้ำบาดาลนั้นมีน้ำตัวอย่างไม่ถึงร้อยละ 25 เท่านั้นที่มีค่าไม่เกินเกณฑ์อนุโลมสูงสุดที่กำหนดไว้ ซึ่งน้ำถือเป็นปัจจัยหลักที่ใช้ในการทำนา หากน้ำที่นำมาใช้มีการปนเปื้อนโลหะหนักในปริมาณสูงก็จะสามารถเกิดการสะสมในผลผลิตข้าวและส่งผลกระทบต่อไปในสิ่งแวดล้อมเป็นลูกโซ่ ดังนั้น หน่วยงานที่เกี่ยวข้องจึงควรให้ความสำคัญในการบริหารจัดการน้ำในการทำการเกษตรเพื่อลดความเสี่ยงในการสะสมโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงครามที่สนับสนุนทุนวิจัยภายใต้เงินกองทุนพัฒนาการวิจัย และบริหารจัดการงานวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2565 รหัสโครงการ RDI-2-65-54 อีกทั้งขอขอบคุณ หลักสูตรสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมและศูนย์วิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือในการดำเนินการวิจัย รวมถึงเกษตรกร ผู้ปลูกข้าวในจังหวัดพิษณุโลกที่ให้ความอนุเคราะห์ในการให้เข้าเก็บตัวอย่างน้ำในพื้นที่นา ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- Abdullah EJ, Hussain RF. Pollution evaluation of irrigation water in paddy fields at Al-Mishkhab area, Iraq. *International Journal of Science and Research* 2016;7(4):223-225.
- Adesokan SA, Giwa ARA, Olu-Owolabi BI. Assessment of selected heavy metals in local rice, water and rice fields soil from Ibesse Town, Ogun State, Nigeria. *International Journal of Advanced Academic Research* 2021;7(5):41-57.
- Ayers RS, Westcot DW. *Water quality for agriculture* (FAO Irrigation and Drainage). Rome: Food and Agriculture Organization; 1985.
- Boonpairose K. Contaminated of lead and cadmium in rice paddy field and ground water. Master of Engineering (Environmental Engineering), Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University; 2010.
- Bureau of Groundwater Resources Region (Ratchaburi). *Groundwater quality standards for consumption*. Available at: <http://www.dgr.go.th/bgr8/th/download/371>. Accessed May 1, 2023.
- Chaoua S, Boussaa S, El Gharmali A, Bourmezzough A. Impact of irrigation with wastewater on accumulation of heavy metals in soil and crops in the region of Marrakech in Morocco. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 2019;18(4):429-36.
- Chirasatienpon T, Sakulthaew C, Chokejaroenrat C, Techauay K, Sutjarit S, Sakulthaew C. Heavy metals contamination in ground water. *Journal of Animal Health Science and Technology*, 2019;3(2),16-23.
- Chyad AA, Saeed AM, Alhendi AS. Determination of heavy metals in irrigation water, soil, paddy, and produced rice of some paddy fields of Iraq. *Iraqi Journal of Science* 2022;63(11):4637-4649.
- Dissanayake CB, Chandrajith R. Phosphate mineral fertilizers, trace metals and human health. *Journal of the National Science Foundation of Sri Lanka* 2009;37(3):153-165.
- Dissanayake DMPNK, De Silva SNT, Pathmarajah S, Fernando, CAN, Abeynayake, NR, Kodagoda, KADA, Dassanayake DMMNK. Occurrence of heavy metals in surface water bodies in rice cultivation areas in Trincomalee district, Sri Lanka. *Paddy and Water Environment* 2023;21(1):1-4.
- Groundwater Analysis Division. *Collection and preservation of water samples*. Available at: <http://www.dgr.go.th/skr/th/newsAll/243/3155>. Accessed April 20, 2022.

- Hindarwati Y, Soeprbowati TR. Heavy metal content in terraced rice fields at Sruwen Tengan Semarang-Indonesia, 2018. In E3S Web of Conferences; EDP Sciences.
- Kachenko AG, Singh B. Heavy Metals contamination in vegetables grown in urban and metal smelter contaminated sites in Australia. *Water, air, and soil pollution* 2006;169:101-123.
- Khan S, Cao Q, Zheng YM, Huang YZ, Zhu YG. Health risks of heavy metals in contaminated soils and food crops irrigated with wastewater in Beijing, China. *Environmental pollution* 2008;152(3):686-692.
- Kingsawat R, Roachanakanan R. Accumulation and distribution of some heavy metals in water, soil and rice fields along the Pradu and Phi Lok canals, Samut Songkhram province, Thailand. *Environment and Natural Resources Journal* 2011;9(1):38-48.
- Muhammad S, Shah MT, Khan S. Health risk assessment of heavy metals and their source apportionment in drinking water of Kohistan region, northern Pakistan. *Microchemical journal* 2011;98(2):334-43.
- National Bureau of Agriculture Commodity and Food Standards. Agreement on the Application of Sanitary and Phytosanitary Measures-SPS, 2015. Available at: <http://www.sps-thailand.net/general.php>. Accessed January 22, 2023.
- North Carolina Environmental Quality. Ground water quality standards. Available at: https://dep.nc.gov/wp-content/uploads/rules/rules/njac7_9c.pdf. Accessed April 1, 2023.
- Nouri J, Mahvi AH, Jahed GR, Babaei AA. Regional distribution pattern of groundwater heavy metals resulting from agricultural activities. *Environmental geology* 2008;55:1337-1343.
- Office of Agricultural Economics. Weekly production and marketing situation in 19-25 April 2021, 2021. Available at: <https://www.oae.go.th/view/1/รายละเอียดสถานการณ์การผลิตและการตลาด/สถานการณ์การผลิตและการตลาดรายสัปดาห์ปี%202564/36583/TH-TH>. Accessed May 11, 2023.
- Office of the Royal Development Projects Board. Work manual: Indicators to develop water resources. Available at: https://www.rdpb.go.th/UploadNew/Documents/2b3ba478-298b-462c-aa41-bef4d8713b0c_คู่มือ%20ตัวชี้วัดด้านการพัฒนาแหล่งน้ำ.pdf. Accessed April 1, 2023.
- Perera PCT, Sundarabarathy TV, Sivananthawerl T, Kodithuwakku SP, Edirisinghe U. Arsenic and cadmium contamination in water, sediments and fish is a consequence of paddy cultivation: evidence of river pollution in Sri Lanka. *Achievements in the Life Sciences* 2016;10(2),144-160.
- Phoket Y, Yooprasert B, Tangwiwat P. The extension of safety and standardized rice production adhering to good agricultural practice for farmers in Roi Et Province. *Khon Kaen Agriculture Journal* 2016; 44(1):624-629.
- Pollution Control Department. Announcement of the national environment board on establishing quality standards for soil sediment in surface water sources, B.E. 2565 (2022). Available at: <https://www.pcd.go.th/laws/28226>. Accessed April 1, 2023.
- Pollution Control Department. Report on the situation of water pollution from rice fields and management. Bangkok: Office of Water Quality Management; 2011.
- Radwan MA, Salama AK. Market basket survey for some heavy metals in Egyptian fruits and vegetables. *Food and chemical toxicology* 2006;44(8):1273-1278.

Royal Initiative Project Support Group. Sampling technique/sampling procedure. Available at: <http://www.dgr.go.th/skr/th/newsAll/243/3155>. Accessed April 20, 2022.

The Office of Strategy Management: Lower Northern Provincial Cluster 1. Basic Information of the Lower Northern Region 1. Lower North Region Development Plan 1 (2018-2022), 2021. Available at: [http://www.osmnorth-s1.moi.go.th/storage/roadmap/แผนพัฒนากลุ่มจังหวัดภาคเหนือตอนล่าง%201%20\(พ.ศ.%202561%20-%202565\)%20ฉบับทบทวน%20ปี%202564.pdf](http://www.osmnorth-s1.moi.go.th/storage/roadmap/แผนพัฒนากลุ่มจังหวัดภาคเหนือตอนล่าง%201%20(พ.ศ.%202561%20-%202565)%20ฉบับทบทวน%20ปี%202564.pdf). Accessed December 11, 2022.

Thongkrua S. Water quality management for Thai jasmine rice agriculture in north Mekong basin area. Phayao: School of Energy and Environment, University of Phayao; 2020.