

การสะสมสารหนูของพืชล้มลุกชนิดเด่นที่พบในบริเวณเหมืองแร่ทองคำ

Arsenic Accumulation of Dominant Herbaceous Plants

Growing around Gold Mine Areas

ปรารธนา เพือกวิไล, ยศเวช สิริจามร และณิมนารห์ อยู่คงแก้ว*

ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์

ตำบลพระปฐมเจดีย์ อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม 73000

Prattana Phuekvilai, Yotsawate Sirichamorn and Nimnara Yookongkaew*

Department of Biology, Faculty of Science, Silpakorn University, Sanamchandra Palace Campus,

Phra Pathom Chedi, Muang, Nakornpathom 73000

บทคัดย่อ

หนึ่งในธาตุที่มักตรวจพบการปนเปื้อนในกระบวนการทำเหมืองแร่รวมถึงกิจกรรมทางการเกษตรต่าง ๆ ของมนุษย์ คือ สารหนู (arsenic, As) ซึ่งเป็นสารพิษร้ายแรงและก่อผลเสียโดยตรงต่อระบบนิเวศและสุขภาพของประชาชนที่อยู่อาศัยโดยรอบ การบำบัดพิษของสารหนูที่ปนเปื้อนอยู่ในดินโดยใช้พืชพรรณที่มีอยู่แล้วในท้องถิ่นจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่ประหยัด ยั่งยืน และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม งานวิจัยในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงศักยภาพในการดูดซับและสะสมสารหนูของพืชล้มลุกชนิดต่าง ๆ ที่เติบโตได้รวดเร็วจนกลายเป็นชนิดเด่นในพื้นที่ที่คาดว่าจะมีการปนเปื้อนของโลหะหนัก คือ บริเวณรอบเหมืองแร่ทองคำ อำเภอทับคล้อ จังหวัดพิจิตร โดยเก็บตัวอย่างทั้งส่วนใต้ดินและส่วนเหนือดินของพืชล้มลุกชนิดเด่น จำนวน 11 ชนิด และดินบริเวณดังกล่าว นำมาวิเคราะห์หาปริมาณสารหนูด้วยเทคนิค ICP-MS (inductively coupled plasma mass spectrometry) จากนั้นจึงจัดจำแนกการดูดซับสารหนูของพืชออกเป็นประเภทต่าง ๆ โดยพิจารณาจากค่า translocation factor (TF) ค่า bioaccumulation factor (BAF) และค่า bioconcentration factor (BCF) ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ดินพบปริมาณสารหนูสูงเกินค่ามาตรฐานในทุกบริเวณที่ศึกษา และไม่พบพืชชนิดใดที่มีสมบัติเป็น arsenic hyperaccumulator โดยพบพืช 7 ชนิด ที่มีสมบัติเป็น arsenic excluder ได้แก่ ต้อยติ่ง ถั่วทาวน์สวิลล์สไตโลแมงลักคา หญ้าขมอมู หญ้าขจรจบ หญ้าดอกขาว และหญ้าพง แม้ว่ายังไม่พบพืชล้มลุกชนิดเด่นที่มีศักยภาพในการนำมาใช้บำบัดความเป็นพิษของสารหนูในดินบริเวณรอบเหมือง ผลการศึกษานี้จะเป็นการกระตุ้นเตือนให้ประชาชนในบริเวณโดยรอบได้ตระหนักและระมัดระวังเรื่องการปนเปื้อนของสารหนูที่มีอยู่ในสิ่งแวดล้อม ตลอดจนสร้างแนวทางสำหรับเฝ้าสังเกต และศึกษาวิจัยพืชล้มลุกชนิดอื่น ๆ ที่มีแนวโน้มในการดูดซับสารหนูต่อไป

คำสำคัญ : สารหนู; พืชล้มลุก; เหมืองแร่ทองคำ

*ผู้รับผิดชอบบทความ : nimnara@gmail.com

Abstract

Arsenic (As) is one of the most deadly, poisonous chemical elements, commonly found as a contaminant in soils or water from mining or pesticides used in agricultural activities. The arsenic poisoning affects ecosystem and health of million people, especially those who live around the risky area such as gold mines. Thus, the use of local plants, especially arsenic hyperaccumulators, to remove or reduce As contamination from environment is considered a low cost, sustainable and environmental-friendly cleanup strategy. Our project therefore aims to study the potential in As uptake of dominant herbaceous plants growing around gold mine areas of Tap Khlo district in Pichit province. The underground parts (roots) and overground parts (shoots) of 11 species of dominant herbaceous plants, including the soils in the area where they grow, were collected and examined the arsenic content by ICP-MS (inductively coupled plasma mass spectrometry). Plants were classified by determining their translocation factor (TF), bioaccumulation factor (BAF) and bioconcentration factor (BCF). The results of soil analysis showed that As exceeded the standard level allowed to be found in soil, in every sampling point. None of the plant species could be classified as arsenic hyperaccumulator. Seven species i.e. *Ruellia tuberosa* L., *Stylosanthes humilis* Kunth., *Hyptis suaveolens* (L.) Poit, *Sida acuta* Burm.f., *Pennisetum polystachyon* (L.) Schult., *Leptochloa chinensis* Nees and *Sorghum halepense* Press., were classified as arsenic excluder. Although the arsenic hyperaccumulator could not be found in our study, the results will raise people's awareness of the high As contamination in soils around this gold mine area. Body of knowledge from our research will also pave the way for future observation and comprehensive studies on plants that are potentially arsenic hyperaccumulators.

Keywords: arsenic; herbaceous plants; gold mine

1. บทนำ

ในกระบวนการทำเหมืองแร่ หลังจากมีการสกัดเอาสินแร่ที่ต้องการออกมาแล้ว ส่วนที่เหลือซึ่งเรียกว่ากากแร่ จะถูกนำไปเก็บในบ่อเก็บกากแร่ ซึ่งกากแร่นี้จะประกอบด้วยน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเศษหิน ดิน ตลอดจนโลหะหนักหลายชนิด หากมีการรั่วซึมของสารพิษจากบ่อเก็บกากแร่ย่อมส่งผลให้ตรวจพบการปนเปื้อนของโลหะหนักปริมาณสูงในบริเวณพื้นที่รอบเหมือง การทำเหมืองแร่ทองคำก็เช่นเดียวกัน มีรายงานการพบโลหะหนัก เช่น สารหนู แคดเมียม

ตะกั่ว เหล็ก และแมงกานีส ปริมาณสูงในดินและแหล่งน้ำบริเวณโดยรอบ [1,2] สำหรับเหมืองแร่ทองคำ จังหวัดพิจิตร สำนักงานวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน ตรวจพบการปนเปื้อนของปรอทและตะกั่วในแหล่งน้ำบาดาลบางแห่ง รวมทั้งพบสารหนู และแมงกานีสปริมาณสูงในตะกอนดินจากแหล่งน้ำผิวดิน อีกทั้งผลการตรวจสอบสุขภาพประชาชนรอบเหมืองแร่ทองคำ พบสารหนูเกินค่ามาตรฐาน 73 ราย และแมงกานีสเกินค่ามาตรฐาน 168 ราย จากการตรวจทั้งหมด 731 ราย [3] จะเห็นได้ว่าการปนเปื้อน

ของโลหะหนักเหล่านี้ส่งผลกระทบโดยตรงต่อสุขภาพของผู้อยู่อาศัยในชุมชนรอบเหมือง อีกทั้งอาจก่อให้เกิดปัญหาในระยะยาวต่อระบบนิเวศได้

สารหนู (arsenic, As) จัดเป็นหนึ่งในธาตุหลักที่มักตรวจพบการปนเปื้อนจากกิจกรรมการทำเหมืองแร่ทองคำ ทั้งนี้เพราะในชั้นหินลึก แร่ทองคำจะจับตัวอยู่กับสารหนูที่อยู่ในรูปของสารประกอบหลักและซัลเฟอร์ ได้แก่ FeSAs , As_2S_2 และ As_2S_3 [4] เมื่อมีการถลุงแร่เพื่อสกัดเอาทองคำ สารหนูที่เคยฝังตัวอยู่ใต้ดินจึงถูกปลดปล่อยออกมาสู่ผิวดินและแหล่งน้ำธรรมชาติในรูปของสารอนินทรีย์ที่มีความเป็นพิษสูงคือ อาร์เซเนต (arsenate, As^{5+}) และอาร์เซไนท์ (arsenite, As^{3+}) ในสภาวะที่มีออกซิเจน อาร์เซเนตจะอยู่ในรูปของสารประกอบออกไซด์ที่เกาะแน่นอยู่กับอนุภาคดิน จึงละลายน้ำได้น้อย และเป็นรูปแบบที่พบได้มากที่สุด在地 [5] แต่ในสภาวะขาดออกซิเจนจะเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ขึ้น ทำให้อาร์เซเนตถูกรีดิวซ์ไปเป็นอาร์เซไนท์ จึงเป็นรูปที่พบในดินที่มีปริมาณออกซิเจนน้อยหรือมีน้ำท่วมขัง เช่น หนองน้ำธรรมชาติหรือนาข้าว [6] อาร์เซไนท์มีสมบัติที่ละลายน้ำได้ดี จึงแพร่กระจายไปกับน้ำผิวดินได้เป็นวงกว้าง นอกจากนี้สารหนูยังสามารถอยู่ในรูปของสารอินทรีย์ในธรรมชาติได้เช่นกัน อาทิ โมโนเมทิลอาร์เซนิก แอซิด (mono-methyl arsenic acid, MMA) และไดเมทิลอาร์เซนิก แอซิด (dimethyl arsenic acid, DMA) ทว่าพบเป็นส่วนน้อยและมักเกิดจากการสังเคราะห์ของจุลินทรีย์ในดิน [7]

ที่ผ่านมา มีรายงานการใช้เทคโนโลยีทางด้านฟิสิกส์และเคมีหลากหลายรูปแบบเพื่อบำบัดสารหนูออกจากพื้นที่ปนเปื้อน [8] แต่วิธีเหล่านี้มีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง ทำให้แนวความคิดการใช้สิ่งมีชีวิตไม่ว่าจะเป็นจุลินทรีย์หรือพืชในการบำบัดจึงอยู่ในความสนใจของนักวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมเสมอมา เนื่องจากเป็น

วิธีการที่ประหยัดและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม [9,10] สำหรับการใช้พืชบำบัดความเป็นพิษของสารพิษจากสิ่งแวดล้อมหรือที่เรียกว่า phytoremediation จะต้องมีการคัดเลือกพืชที่มีความทนทานต่อสารพิษชนิดนั้น อีกทั้งสามารถดูดซับสารพิษและนำมาสะสมไว้ในต้นพืชได้มากกว่าพืชทั่วไป ซึ่งควรเป็นพืชที่พบได้ในพื้นที่นั้น เจริญเติบโตได้รวดเร็ว มีมวลชีวภาพสูง เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการบำบัด และไม่ใช้พืชอาหาร [10] โดยปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความสามารถในการดูดซับและสะสมสารพิษของพืชประกอบด้วย ปัจจัยการสะสมทางชีวภาพ ซึ่งคำนึงถึงการสะสมในส่วนเหนือดิน (bioaccumulation factor, BAF) และการสะสมในเนื้อเยื่อใต้ดิน (bioconcentration factor, BCF) รวมทั้งปัจจัยการเคลื่อนย้ายสารพิษจากส่วนใต้ดินไปยังเนื้อเยื่อส่วนเหนือดิน (translocation factor, TF) โดย Baker และ Walker ได้ใช้ปัจจัยข้างต้นในการจำแนกพืชที่เจริญในพื้นที่ปนเปื้อนโลหะหนักเป็นสามกลุ่ม ได้แก่ พืชที่สะสมโลหะหนักไว้ในราก ไม่มีการลำเลียงไปยังส่วนอื่น (metal excluder) พืชที่มีการดูดซับและสะสมโลหะหนักในเนื้อเยื่อ โดยปริมาณที่สะสมในมวลชีวภาพแปรผันตรงกับปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดิน ใช้เป็นดัชนีชี้วัดพื้นที่ที่ปนเปื้อนได้ (metal indicator) และพืชที่มีการดูดซับและสะสมโลหะหนักโดยสามารถสะสมในส่วนเหนือดินได้ปริมาณสูงกว่าความเข้มข้นในดิน ณ บริเวณนั้น (metal accumulator/hyperaccumulator) ซึ่งพืชกลุ่มสุดท้ายนี้จัดเป็นกลุ่มที่มีศักยภาพในการนำไปเป็นพืชบำบัด [11]

งานวิจัยนี้จึงมีจุดมุ่งหมายในการสำรวจพืชล้มลุกชนิดเด่นที่เจริญเติบโตบริเวณรอบบ่อเก็บกากแร่ของเหมืองแร่ทองคำ จังหวัดพิจิตร ที่สามารถดูดซับและสะสมสารหนู โดยเก็บตัวอย่างพืชชนิดเด่นที่เจริญในพื้นที่ และไม่ใช้พืชอาหารมาวิเคราะห์หาปริมาณสารหนูในเนื้อเยื่อ จากนั้นจึงจัดจำแนกพืชเป็นสามกลุ่ม

ข้างต้น เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการวางแผนบำบัดดินในบริเวณปนเปื้อน ตลอดจนการเฝ้าระวังการปนเปื้อนของสารหนูสู่ชุมชนรอบเหมืองแร่ทองคำต่อไป

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การสำรวจพื้นที่ปนเปื้อนและการเก็บตัวอย่างพื้นที่ปนเปื้อนและดิน

สำรวจพื้นที่เบื้องต้น เพื่อวางแผนเส้นทางการเก็บตัวอย่างและทราบถึงสภาพโดยรวมของพื้นที่ จากนั้นเลือกตำแหน่งเก็บตัวอย่างพื้นที่ปนเปื้อนบริเวณริมทางสาธารณะรอบบ่อเก็บกากแร่ที่ 2 ของเหมืองแร่ทองคำ บริเวณหมู่ที่ 3 และหมู่ที่ 8 ตำบลเขาเจ็ดยักษ์ อำเภอทับคล้อ จังหวัดพิจิตร ในช่วงเดือนตุลาคม ปี พ.ศ. 2558 จำนวน 7 ตำแหน่ง โดยคัดเลือกตำแหน่งเก็บให้ครอบคลุมทุก ๆ สภาพนิเวศวิทยาของพื้นที่

นั้น ๆ จากนั้นคัดเลือกพื้นที่ปนเปื้อนเฉพาะกลุ่มพืชดอก เน้นพืชที่มีลักษณะวิสัยเป็นไม้ล้มลุกและพบเป็นชนิดเด่นในพื้นที่ โดยให้นิยามคำว่าพืชชนิดเด่น หมายถึง จะต้องพบจำนวนมากกว่า 50 ต้น ในหนึ่งตำแหน่งเก็บตัวอย่าง หรือเจริญครอบคลุมพื้นที่ของตำแหน่งเก็บตัวอย่างไม่น้อยกว่า 40 % จากนั้นเก็บตัวอย่างพืชพร้อมทั้งบันทึกพิกัดตำแหน่งที่เก็บตัวอย่าง (รูปที่ 1 และตารางที่ 1) โดยเก็บตัวอย่าง ทั้งส่วนที่อยู่เหนือดินและส่วนที่อยู่ใต้ดิน จำนวนอย่างน้อย 10 ต้นต่อชนิดต่อตำแหน่ง เพื่อเป็นตัวแทนของพืชในตำแหน่งนั้น สำหรับการเก็บตัวอย่างดิน จะเก็บบริเวณเดียวกับตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างพืช โดยสุ่มเก็บตัวอย่างดิน 3 จุดในตำแหน่งที่เก็บตัวอย่าง จากนั้นนำมารวมกันเพื่อใช้เป็นตัวแทนของดินบริเวณตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างนั้น ๆ



รูปที่ 1 แผนที่แสดงตำแหน่งเก็บตัวอย่าง โดย ▲ และตัวเลข 1-7 แสดงตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างทั้ง 7 ตำแหน่งตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง พืชที่เก็บตัวอย่าง และชนิดพืช โดยเลขในวงเล็บด้านหลังชื่อพืช แสดงหมายเลขตัวอย่าง

ตำแหน่ง เก็บตัวอย่าง	พิกัดตำแหน่งเก็บตัวอย่าง		ชื่อพื้นเมืองของไทย	ชื่อวิทยาศาสตร์
	ละติจูด	ลองจิจูด		
1	16.2752	100.6446	หญ้าขัดมอญ	<i>Sida acuta</i> Burm.f.
			แมงลักคา	<i>Hyptis suaveolens</i> (L.) Poit
2	16.2774	100.6300	หญ้าจรจบ	<i>Pennisetum polystachyon</i> (L.) Schult.
			หญ้าพง (1)	<i>Sorghum helepense</i> Press.
3	16.2768	100.6283	บานไม่รู้โรยป่า (1)	<i>Gomphrena celosioides</i> Mart.
			สาบแร้งสาบกา	<i>Ageratum conyzoides</i> L.
4	16.2798	100.6260	ครามขน	<i>Indigofera hirsute</i> L.
5	16.2803	100.6262	หญ้างวงช้าง	<i>Heliotropium indicum</i> L.
			หญ้าดอกขาว	<i>Leptochloa chinensis</i> Nees
			บานไม่รู้โรยป่า (2)	<i>Gomphrena celosioides</i> Mart.
			ถั่วทาวนส์วิลล์สไตโล (1)	<i>Stylosanthes humilis</i> Kunth.
6	16.2926	100.6283	ถั่วทาวนส์วิลล์สไตโล (2)	<i>Stylosanthes humilis</i> Kunth.
			หญ้าพง (2)	<i>Sorghum helepense</i> Press.
7	16.2983	100.6366	ต้อยติ่ง	<i>Ruellia tuberosa</i> L.

2.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารหนูในพืชและดิน

นำตัวอย่างพืชจากข้อ 2.1 มาล้างทำความสะอาดเพื่อกำจัดสิ่งสกปรกด้วยน้ำประปา แล้วล้างด้วยน้ำกลั่นอีก 3 ครั้ง ตัดแยกส่วนเหนือดิน และส่วนใต้ดินออกจากกัน ก่อนนำไปอบในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส นาน 3-5 วัน จนตัวอย่างแห้งสนิท จากนั้นชั่งน้ำหนักพืชแต่ละส่วนจำนวน 5 กรัม น้ำหนักแห้ง เพื่อส่งตรวจวัดปริมาณสารหนู ด้วยเทคนิค ICP-MS (inductively coupled plasma mass Spectrometry) ตามวิธีของ AOAC (2012), 957.22 ที่บริษัท ALS (Thailand) สำหรับตัวอย่างดิน เตรียมให้แห้งก่อนด้วยวิธีการเดียวกับตัวอย่างพืช แล้วจึงชั่งน้ำหนัก

ตัวอย่างดิน 100 กรัมต่อตำแหน่งที่เก็บตัวอย่าง เพื่อส่งตรวจวัดปริมาณสารหนูด้วยเทคนิคเดียวกับการตรวจวัดในตัวอย่างพืช

2.3 การจำแนกประเภทของพืชตามการสะสมสารหนู

นำปริมาณสารหนูที่ตรวจวัดได้จากตัวอย่างพืชทั้งส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดิน รวมถึงปริมาณสารหนูในดิน จากข้อ 2.2 มาคำนวณค่า translocation factor (TF) ค่า bioaccumulation factor (BAF) และค่า bioconcentration factor (BCF) จากสูตร

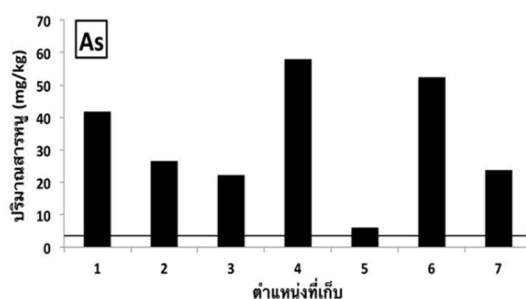
$$TF = C_{\text{shoot}}/C_{\text{root}}$$

$$BAF = C_{\text{shoot}}/C_{\text{soil}}$$

$$BCF = C_{\text{root}}/C_{\text{soil}}$$

เมื่อ C_{shoot} คือ ปริมาณสารหนูจากส่วนเหนือดินของพืช (mg/kg DW), C_{root} คือ ปริมาณสารหนูจากส่วนใต้ดินของพืช (mg/kg DW), C_{soil} คือ ปริมาณสารหนูในดิน (mg/kg DW)

จากนั้นจำแนกประเภทของพืชแต่ละชนิดว่ามีสมบัติเป็น arsenic hyperaccumulator, arsenic excluder หรือ arsenic indicator จากการวิเคราะห์ค่า TF, BAF และ BCF ที่คำนวณได้ โดยพืชที่ถูกจัดจำแนกเป็น arsenic hyperaccumulator จะต้องมียุทธศาสตร์ TF, BAF และ BCF มากกว่า 1 สำหรับพืชที่เป็น arsenic excluder จะมีค่า TF น้อยกว่า 1 และมีปริมาณสารหนูในรากสูง ส่วนพืชที่ถูกจัดจำแนกเป็น arsenic indicator จะต้องมียุทธศาสตร์สารหนูสะสมในส่วนเหนือดินของพืชแปรผันตามปริมาณสารหนูในดินที่ตำแหน่งนั้น ๆ [10,12]



รูปที่ 2 ปริมาณสารหนู (As) ในดินจากตำแหน่งเก็บตัวอย่างทั้ง 7 ตำแหน่ง เส้นสีแดงแสดงค่ามาตรฐานตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมฉบับที่ 5 (3.9 mg/kg)

3. ผลการวิจัย

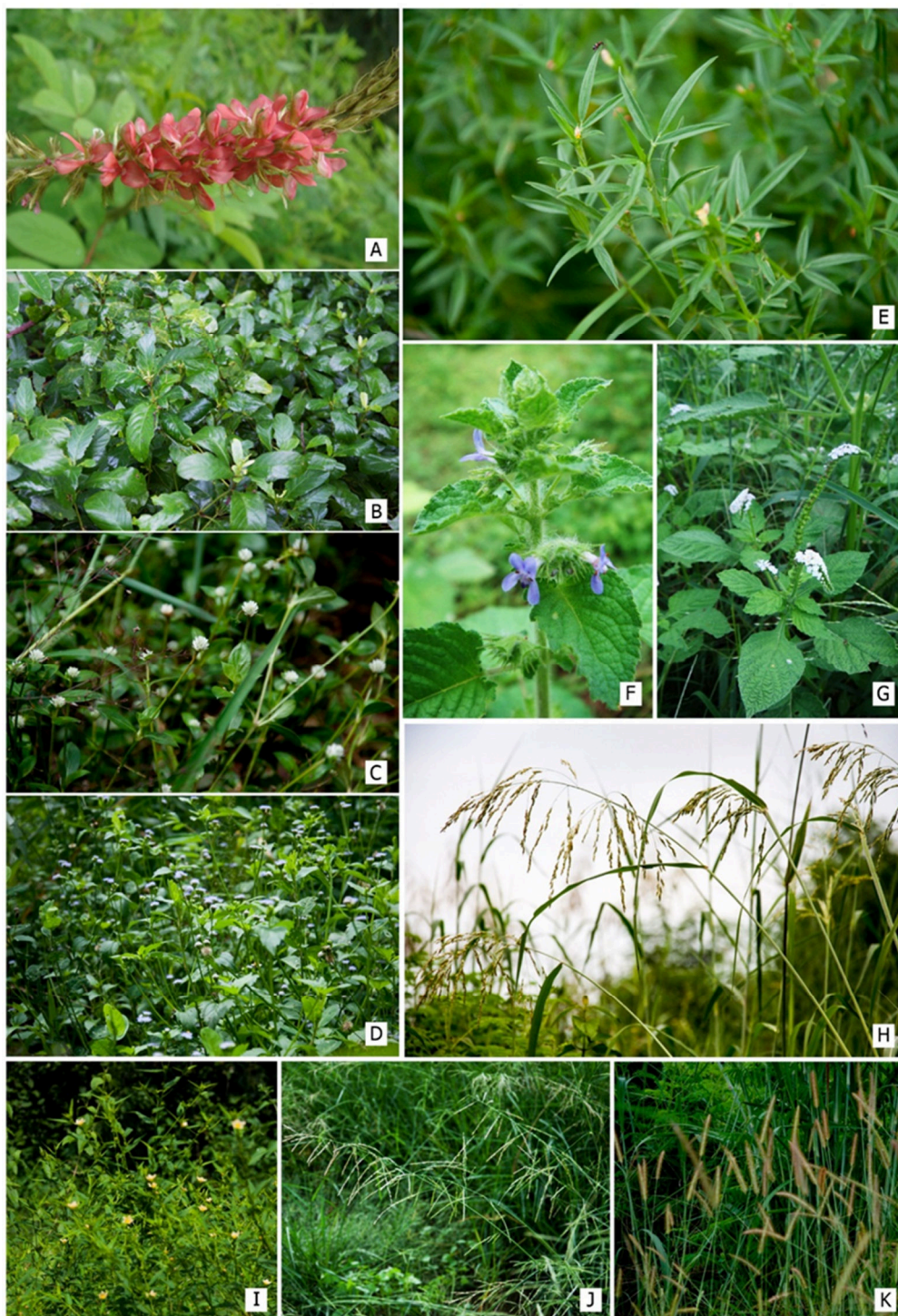
3.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารหนูในดิน

การเก็บตัวอย่างดินทั้ง 7 ตำแหน่ง มาวิเคราะห์ปริมาณสารหนู (As) พบว่าดินทุกตำแหน่งเก็บตัวอย่าง มีปริมาณสารหนูสูงเกินค่ามาตรฐาน

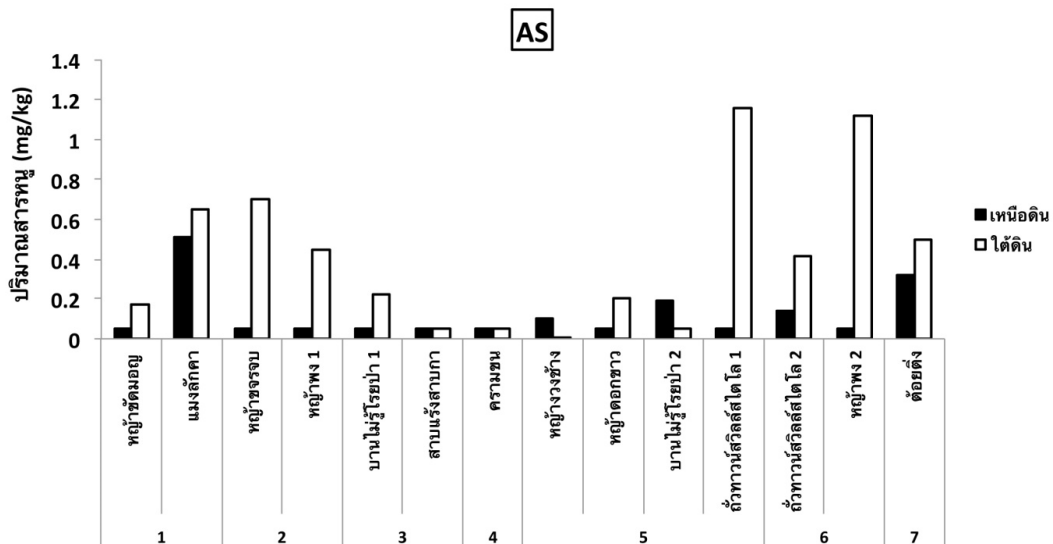
สำหรับพื้นที่สำหรับอยู่อาศัยและเกษตรกรรมซึ่งกำหนดไว้ที่ 3.9 mg/kg ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติฉบับที่ 25 (พ.ศ. 2547) โดยแต่ละตำแหน่งเก็บตัวอย่างมีปริมาณสารหนูแตกต่างกัน โดยพบว่าที่ตำแหน่งเก็บตัวอย่างที่ 4 มีปริมาณสารหนูในดินสูงที่สุด ที่ 58 mg/kg ซึ่งสูงกว่าค่ามาตรฐานถึงเกือบ 15 เท่า ในขณะที่ตำแหน่งเก็บตัวอย่างที่ 6 มีปริมาณสารหนูสูงเป็นอันดับที่ 2 ที่ 52 mg/kg ตำแหน่งที่พบปริมาณสารหนูต่ำที่สุด คือ ตำแหน่งเก็บตัวอย่างที่ 5 มีปริมาณสารหนูอยู่ที่ 6 mg/kg ซึ่งยังคงสูงกว่าค่ามาตรฐานเกือบ 2 เท่า (รูปที่ 2)

3.2 ผลการสำรวจพันธุ์พืชและวิเคราะห์ปริมาณสารหนูที่สะสมในพืช

การสำรวจพืชไม้ล้มลุกในพื้นที่ทั้ง 7 ตำแหน่ง พบไม้ล้มลุกที่เป็นชนิดเด่นในพื้นที่ทั้งหมด 11 ชนิด แบ่งเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยววงศ์หญ้า (Poaceae) จำนวน 3 ชนิด คือ หญ้าขจรจบ หญ้าพง และหญ้าดอกขาว พืชใบเลี้ยงคู่จำนวน 8 ชนิด คือ ครามขน (วงศ์ Fabaceae) ต้อยติ่ง (วงศ์ Acanthaceae) ถั่วทาวนส์วิลล์สไตโล (วงศ์ Fabaceae) บานไม่รู้โรยป่า (วงศ์ Amaranthaceae) แมงลักคา (วงศ์ Lamiaceae) สาบ-แร้งสาบกา (วงศ์ Asteraceae) หญ้าขัดมอญ (วงศ์ Malvaceae) และหญ้าวงช้าง (วงศ์ Boraginaceae) จากนั้นจึงเก็บตัวอย่างพืชเพื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณสารหนู โดยเก็บตัวอย่างพืชรวม 15 ตัวอย่าง พืชบางชนิด เช่น หญ้าพง บานไม่รู้โรยป่า และถั่วทาวนส์วิลล์สไตโล พบว่าเป็นพืชชนิดเด่นในหลายตำแหน่ง จึงมีการเก็บพืชดังกล่าวมากกว่า 1 ตัวอย่าง (ตารางที่ 1 และรูปที่ 3) จากการวิเคราะห์ปริมาณสารหนูในตัวอย่างพืชทั้งส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดิน พบว่าพืชจำนวน 7 ชนิด คือ หญ้าขัดมอญ แมงลักคา หญ้าขจรจบ หญ้าพง หญ้าดอกขาว ถั่วทาวนส์วิลล์สไตโล และต้อยติ่งนั้นมีการสะสมสารหนูในส่วนใต้ดินมากกว่า



รูปที่ 3 พืชล้มลุกชนิดเด่นทั้ง 11 ชนิด ที่พบในพื้นที่ศึกษา ได้แก่ ครามขน (A), ต้อยติ่ง (B), บานไม่รู้โรยป่า (C), สาบแร้งสาบกา (D), ถั่วทวนสวีลส์โตโล (E), แมงลักคา (F), หญ้าวงช้าง (G), หญ้าพง (H), หญ้าขดมอญ (I), หญ้าดอกขาว (J) และหญ้าขจรจบ (K)



รูปที่ 4 ปริมาณสารหนูในพืชตัวอย่างที่เก็บจากตำแหน่งเก็บตัวอย่างทั้ง 7 ตำแหน่ง โดยตัวเลขใต้แกนนอนแสดงตำแหน่งที่เก็บตัวอย่าง และเลขด้านหลังชื่อพืชแสดงหมายเลขตัวอย่าง

ส่วนเหินือดิน (รูปที่ 4) โดยพบว่าถั่วหวานสวีสต์สไตโล 1 มีการสะสมสารหนูในส่วนใต้ดินมากที่สุด (1.16 mg/kg) และแหม่งลักคามีการสะสมสารหนูในส่วนเหินือดินมากที่สุด (0.51 mg/kg) สำหรับสาบแรังสาบกา และครามขน มีการสะสมสารหนูในส่วนเหินือดินและส่วนใต้ดินในปริมาณใกล้เคียงกัน โดยมีการสะสมสารหนูรวมทั้งสองส่วนในปริมาณต่ำมากเมื่อเปรียบเทียบกับพืชชนิดอื่น (0.1 mg/kg) อย่างไรก็ตาม โดยภาพรวมพบว่าการสะสมสารหนูทั้งในส่วนเหินือดินและส่วนใต้ดินในพืชไม้ล้มลุกชนิดเด่นทั้ง 11 ชนิด มีปริมาณต่ำกว่า 1.2 mg/kg ซึ่งนับว่าน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณสารหนูที่สะสมในดินในบริเวณที่เก็บตัวอย่าง (6-58 mg/kg) (รูปที่ 2)

3.3 ผลการจำแนกประเภทของพืชตามการสะสมสารหนู

เมื่อนำปริมาณสารหนูที่ตรวจวัดได้จากส่วนเหินือดินและส่วนใต้ดินของพืชแต่ละชนิด และปริมาณสารหนูในดิน มาคำนวณค่า translocation factor

(TF), ค่า bioaccumulation factor (BAF) และค่า bioconcentration factor (BCF) เพื่อจัดจำแนกประเภทของพืชตามความสามารถในการดูดซับและสะสมสารหนู พบว่าพืชล้มลุกทั้ง 11 ชนิด มีค่า BAF 0.00-0.03 และมีค่า BCF 0.00-0.19 (ตารางที่ 2) ซึ่งถือเป็นค่าที่ค่อนข้างต่ำ แสดงให้เห็นว่าพืชล้มลุกชนิดเด่นที่เก็บตัวอย่างมา มีความสามารถในการดูดซับสารหนูจากดินและสะสมในเนื้อเยื่อได้น้อย ถึงแม้จะเจริญในบริเวณพื้นที่ที่มีปริมาณสารหนูอยู่มากก็ตาม ซึ่งส่งผลให้ไม่มีพืชล้มลุกชนิดใดมีสมบัติเป็น As hyperaccumulator เลย จากผลการวิเคราะห์พบว่า พืชล้มลุกชนิดเด่นที่เก็บตัวอย่างมาส่วนใหญ่ (เหินือขดมอญู แหม่งลักคา เหินือจระจบ เหินือฟาง เหินือดอกขาว ถั่วหวานสวีสต์สไตโล และด้อยตั้ง) มีสมบัติเป็น As excluder เนื่องจากมีการสะสมสารหนูในส่วนใต้ดินมากกว่าส่วนเหินือดิน ทำให้มีค่า TF ต่ำกว่า 1 และพบว่ามีสารหนูสะสมในส่วนใต้ดินในปริมาณสูง (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ปริมาณสารหนูที่ตรวจพบในส่วนต่าง ๆ ของพืชและในดิน รวมถึงค่า translocation factor (TF), bioaccumulation factor (BAF) และ bioconcentration factor (BCF) ในพืชตัวอย่าง โดยเลขด้านหลังชื่อพืช แสดงหมายเลขตัวอย่าง

ตำแหน่งที่เก็บ	ชื่อพืช	ปริมาณสารหนู (As) ที่ตรวจพบ (mg/Kg) ในส่วนต่างๆ			ค่าแปลงเพื่อพิจารณาแบ่งประเภทของพืช		
		พืชส่วนใต้ดิน C_{root}	พืชส่วนเหนือดิน C_{shoot}	ในดิน C_{soil}	TF	BAF	BCF
1	หญ้าขี้ฉ้อ (<i>Sida acuta</i> Burm.f.)	0.17	0.05	41.75	0.29	0.00	0.00
	แมงลักคา [<i>Hyptis suaveolens</i> (L.) Poit]	0.65	0.51		0.78	0.01	0.02
2	หญ้าขจรจบ [<i>Pennisetum polystachyon</i> (L.) Schult.]	0.70	0.05	26.65	0.07	0.00	0.03
	หญ้าพง 1 (<i>Sorghum helepense</i> Press.)	0.45	0.05		0.11	0.00	0.02
3	บานไม่รู้โรยป่า 1 (<i>Gomphrena celosioides</i> Mart.)	0.22	0.05	22.3	0.23	0.00	0.01
	สาบแร้งสาบกา (<i>Ageratum conyzoides</i> L.)	0.05	0.05		1.00 *	0.00	0.00
4	ครามขน (<i>Indigofera hirsute</i> L.)	0.05	0.05	57.85	1.00 *	0.00	0.00
5	หญ้างวงช้าง (<i>Heliotropium indicum</i> L.)	0.00	0.10	6.00	-	0.02	0.00
	หญ้าดอกขาว (<i>Leptochloa chinensis</i> Nees)	0.20	0.05		0.25	0.01	0.03
	บานไม่รู้โรยป่า 2 (<i>Gomphrena celosioides</i> Mart.)	0.05	0.19		3.80 *	0.03	0.01
	ถั่วหวานสวลีสีโตโล 1 (<i>Stylosanthes humilis</i> Kunth.)	1.16	0.05		0.04	0.01	0.19
6	ถั่วหวานสวลีสีโตโล 2 (<i>Stylosanthes humilis</i> Kunth.)	0.42	0.14	52.35	0.33	0.00	0.01
	หญ้าพง 2 (<i>Sorghum helepense</i> Press.)	1.12	0.05		0.04	0.00	0.02
7	ต้อยติ่ง (<i>Ruellia tuberosa</i> L.)	0.50	0.32	23.75	0.64	0.01	0.02

หมายเหตุ : * แสดงค่า TF, BAF และ BCF ที่มากกว่าหรือเท่ากับ 1, สำหรับหญ้างวงช้าง ไม่สามารถคำนวณค่า TF ได้ เนื่องจากผลการวิเคราะห์พบสารหนูในปริมาณน้อยเกินกว่าจะตรวจวัดได้ ส่งผลให้ค่า $C_{root} = 0$

4. วิจัยรณ

การปนเปื้อนของสารหนูในสิ่งแวดล้อมโดยทั่วไปเกิดได้จากหลายสาเหตุ ทั้งที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น การชะล้างของหินและแร่ที่มีสารหนูเป็นองค์ประกอบ หรืออาจเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การใช้ปุ๋ยและยาฆ่าแมลงในการเกษตร สารเคมีที่ใช้กับศัตรู การเผาไหม้ถ่านหิน การเผาขยะ รวมถึงการถลุงแร่ในการทำเหมือง โดยพบว่าการทำเหมืองแร่ทองคำ อาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการปนเปื้อนของสารหนู จากการวิเคราะห์ปริมาณสารหนูในดินบริเวณรอบบ่อเก็บกากแร่ที่ 2 ของเหมืองแร่ทองคำ

อำเภอทับคล้อ จังหวัดพิจิตร ในช่วงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2558 (ฤดูฝน) พบการปนเปื้อนของสารหนูเกินค่ามาตรฐาน (3.9 mg/kg) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารหนูในดินบริเวณดังกล่าว ในช่วงเดือนมิถุนายน ในปีเดียวกัน (ซึ่งเกิดปรากฏการณ์ฝนทิ้งช่วง ทำให้ในเดือนมิถุนายนพื้นที่ยังคงมีสภาพแห้งแล้ง) [13] นอกจากนี้ยังมีรายงานของสำนักงานวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน ที่ได้ตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารหนูในตะกอนดินแหล่งน้ำผิวดิน จากชุมชนรอบเหมืองแร่ทองคำดังกล่าว พบว่าอยู่ในช่วง 4.01-387.50 mg/kg [3] เช่นเดียวกับ

ในรายงานจากประเทศเกาหลีใต้ถึงการปนเปื้อนของสารหนูในดินและน้ำ บริเวณรอบเหมืองแร่ทองคำ โดยพบว่าในพื้นที่เกษตร มีสารหนูปนเปื้อนอยู่ในช่วง 80-137 mg/kg [14] อย่างไรก็ตาม การศึกษาครั้งนี้ก็เป็นอีกหนึ่งงานวิจัยที่ยืนยันการปนเปื้อนของสารหนูในพื้นที่ แม้ว่ายังไม่สามารถระบุสาเหตุหรือแหล่งที่มาของสารหนูอย่างแน่ชัด การพบสารหนูสะสมในดินเป็นปริมาณสูงย่อมส่งผลกระทบต่อสังคมสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ในบริเวณดังกล่าวไม่มากนัก

พืชพันธุ์ที่สามารถอยู่รอดและเจริญเติบโตในพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนของสารหนูปริมาณสูง จะต้องมีการปรับตัวให้สามารถทนต่อความเป็นพิษของธาตุชนิดนี้ โดยอาศัยกลไกทางสรีรวิทยาบางประการ อาทิ การขับสารหนูออกจากเซลล์เพื่อลดความเป็นพิษ การดูดซับสารหนูจากดินแล้วเก็บไว้ในรากโดยไม่มีการลำเลียงขึ้นไปยังส่วนเหนือดิน หรือมีการลำเลียงไปยังส่วนเหนือดินแล้วเก็บสะสมไว้ในเนื้อเยื่อ [15] โดยพืชที่เหมาะสมในการนำมาใช้เป็นพืชบำบัด (phytoremediation) ต้องมีกลไกในการดูดซับสารหนูและลำเลียงไปยังเนื้อเยื่อ เพื่อสะสม หรือเพื่อนำไปย่อยสลายต่อไป [16] จากการสำรวจพันธุ์พืชในพื้นที่รอบบ่อเก็บกากแร่ของเหมืองแร่ทองคำ จังหวัดพิจิตร ทั้ง 11 ชนิด ไม่พบพืชที่มีความสามารถในการดูดซับและสะสมสารหนูในระดับที่สูงเพียงพอที่จะจัดจำแนกเป็น hyperaccumulator อย่างไรก็ตาม พบว่าพืชส่วนใหญ่ (7 ใน 11 ชนิด) มีการดูดซับและสะสมสารหนูไว้ในส่วนใต้ดินมากกว่าที่จะลำเลียงไปยังส่วนเหนือดิน จึงจัดจำแนกว่าเป็น excluder โดยพบว่าหญ้าพง หญ้าขจรจบ และกล้วยตานีสวิรสไคโล มีความสามารถในการสะสมสารหนูในส่วนใต้ดินได้ดีกว่าพืชชนิดอื่น แต่การสะสมสารหนูในเนื้อเยื่อพืชดังกล่าวยังจัดว่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณสารหนูในดิน โดยกลไกการดูดซับสะสมและลำเลียงสารหนูในพืชขึ้นอยู่กับปัจจัยหลาย

ประการ อาทิ ชนิดของสารหนู ความเข้มข้นของสารหนู ความเป็นกรดต่างของดิน และชนิดของพืช พืชหลายชนิดมีการดูดซับสารหนูในรูปของอาร์เซเนต (arsenate) โดยโปรตีนกลุ่ม phosphate transporter บนเยื่อหุ้มเซลล์ของราก แต่ในสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนน้อย เช่น บริเวณที่มีน้ำท่วมขัง สารหนูจะอยู่ในรูปของอาร์เซไนท์ (arsenite) ซึ่งพืชสามารถดูดซับได้ง่ายกว่ารูปของอาร์เซเนต โดยผ่านทาง nodulin-26-like intrinsic membrane proteins (NIPs) ซึ่งเป็นโปรตีนในกลุ่ม aquaporin [15] จากการสำรวจพื้นที่บริเวณรอบบ่อเก็บกากแร่ ของเหมืองแร่ทองคำ ในช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่าง ไม่มีตำแหน่งเก็บตัวอย่างใดที่มีสภาพเป็นพื้นที่ชุ่มน้ำ หรือน้ำขัง จึงคาดว่าสารหนูในดินบริเวณดังกล่าวน่าจะอยู่ในรูปของอาร์เซเนตมากกว่าในรูปของอาร์เซไนท์ อีกทั้งสารหนูยังไม่จัดเป็นธาตุอาหารพืช จึงอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้พืชมีการดูดซับสารหนูได้น้อย

การสำรวจพืชชนิดเด่นในครั้ง นี้ ยังไม่พบพืชชนิดใดที่มีศักยภาพในการบำบัดสารหนูออกจากดิน จึงอาจจำเป็นต้องเพิ่มพื้นที่ในการสำรวจ เพื่อค้นหาพืชล้มลุกชนิดอื่นเพิ่มเติม หรืออาจขยายขอบเขตไปยังพืชอื่น ๆ ที่มีใช้ชนิดเด่นในพื้นที่ หรือพืชในกลุ่มอื่น ๆ ที่มีใช้พืชดอก เช่น เฟิร์น โดยเฉพาะอย่างยิ่งพืชจำพวกเฟิร์นในสกุล *Pteris* L. หลายชนิด [17] ซึ่งในปี ค.ศ. 2002 Andrew [18] รายงานว่ามีการสะสมสารหนูในใบเฟิร์นชนิดดังกล่าวได้ 361-2,493 mg/kg โดยเฟิร์นที่มีรายงานการดูดซับสารหนูได้ดี (เป็น As hyperaccumulator) ได้รับความนิยมในการนำมาศึกษาการบำบัดสารหนู คือ กูดหมาก (*Pteris vittata* L.) [19-21] ซึ่งเป็นพืชที่มีการกระจายพันธุ์ทั้งบริเวณเขตร้อนและเขตอบอุ่นในเอเชีย ยุโรป และแอฟริกา [22] นอกจากนี้ยังมีรายงานถึงเฟิร์นทองใบเงิน (*Pityrogramma calomelanos*) ที่มีศักยภาพในการ

บำบัดสารหนูจากดินเช่นกัน [7] โดยนักวิทยาศาสตร์ได้สันนิษฐานถึงสาเหตุของวิวัฒนาการของเฟิร์นกลุ่มดังกล่าวในการทนทานต่อสารหนูว่าอาจเกิดจากในยุคแรกพืชกลุ่มนี้เจริญเติบโตอยู่ในบริเวณใกล้น้ำพุร้อนซึ่งสามารถพบการปนเปื้อนของสารหนูในปริมาณสูงที่มาจากส่วนลึกของเปลือกโลก [23] อย่างไรก็ตาม พืชอาจได้รับประโยชน์จากการสะสมสารหนูในลำต้นในเชิงของการกลไกการป้องกันตนเองจากการกีดกันของสัตว์กินพืชชนิดต่าง ๆ ที่จะได้รับพิษจากสารหนูที่สะสมไว้นั่นเอง [24] สำหรับประเทศไทยได้มีการทดลองใช้เฟิร์นทองใบเงิน ในการบำบัดสารหนูที่ปนเปื้อนในพื้นที่ อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช ผลการทดลองพบว่าเฟิร์นดังกล่าวมีการสะสมสารหนูในใบสูงกว่า 8.35 mg/kg และมีการสะสมสารหนูในส่วนใต้ดิน 0.09-0.31 mg/kg [25] นอกจากนี้ยังมีรายงานพืชชนิดอื่นที่มีสมบัติเป็น hyperaccumulator ต่อสารหนู ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพืชน้ำ เช่น พุทธรักษา (*Canna glauca* L.) บอน (*Colocasia esculenta* L.) ฐฤาษี (*Typha angustifolia* L.) กก อียิปต์ (*Cyperus papyrus* L.) [26,27] และพืชลอยน้ำหลายชนิดเช่นที่เป็นพืชดอก เช่น ผักตบชวา [*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms] และแหนเหล็ก (*Lemna minor* L.) [28] ผำหรือไข่น้ำ [*Wolffia globosa* (Roxb.) Hartog & Plas] [29] รวมถึงเฟิร์นน้ำอย่างแหนแดงชนิดต่าง ๆ (*Azolla caroliniana* Willd. และ *Azolla filiculoides* Lam.) [30] ตลอดจนจอกหูหนูชนิดต่าง ๆ (*Salvinia natans* L. และ *Salvinia minima* Baker) ด้วย [31,32] นอกจากนี้ยังมีการนำไม้ประดับตัดดอกอย่างดาวเรือง (*Tagetes erecta* L.) มาใช้เพื่อการบำบัดพิษของสารหนูด้วยเช่นกัน [33] อย่างไรก็ตาม การนำพืชต่างถิ่นมาปลูกในพื้นที่ดังกล่าวควรกระทำด้วยความระมัดระวัง เพราะหลายชนิดอาจมีลักษณะของการเป็นวัชพืชที่มีการระบาดที่รุนแรง และอาจ

ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศในระยะยาวได้ในหลายพื้นที่ ได้แก่ ในกรณีที่พบในผักตบชวา ฐฤาษี และจอกหูหนูยักษ์ เป็นต้น

การศึกษาครั้งนี้ได้พบกุศตมกเจริญอยู่ในพื้นที่เช่นกัน ทว่ามีปริมาณน้อยและไม่อาจจัดให้เป็นพืชชนิดเด่นได้ สาเหตุอาจเป็นเพราะปรากฏการณ์ฝนทิ้งช่วงในปีที่ศึกษา ทำให้ความชื้นมีไม่มากพอต่อการเจริญเติบโตของพืชในกลุ่มเฟิร์นที่ยังต้องพึ่งพาอาศัยน้ำเป็นสื่อกลางในการปฏิสนธิของเซลล์สืบพันธุ์ อีกทั้งการเจริญอย่างรวดเร็วของวัชพืชหลายชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในวงศ์หญ้า (Poaceae) ที่มักจะขึ้นปกคลุมเป็นบริเวณกว้าง บดบัง และแก่งแย่งปัจจัยในการเจริญกับพืชชนิดอื่น ๆ หรือปล่อยสารเคมีซึ่งยับยั้งการเจริญของพืชชนิดอื่น ๆ (allelopathic substance) อีกด้วย [34] การนำกุศตมกซึ่งเป็นเฟิร์นที่ต้องการความชื้นในการเจริญเติบโตค่อนข้างสูง หรือการนำพืชน้ำหลายชนิดที่มีรายงานดังกล่าวข้างต้น มาใช้ในการบำบัดดินที่ปนเปื้อนสารหนูในบริเวณที่ค่อนข้างแห้งแล้งของเหมืองแร่ทองคำ อำเภอทับคล้อ จังหวัดพิจิตรนี้ จึงอาจไม่เหมาะสมเท่าที่ควรนักในเชิงปฏิบัติ

ข้อสังเกตประการหนึ่งที่พบในการศึกษานี้ คือ ปริมาณสารหนูในดินตำแหน่งที่ 4 และ 5 มีค่าที่แตกต่างกันค่อนข้างมาก (รูปที่ 2 และตารางที่ 2) แม้ว่าในตำแหน่งทั้งสองจะเป็นบริเวณที่อยู่ใกล้กันมากก็ตาม (รูปที่ 1) ซึ่งยังไม่ทราบสาเหตุที่แท้จริงของความแตกต่างนี้ เมื่อพิจารณาถึงชนิดของพืชที่เจริญในบริเวณทั้งสอง พบว่าจำนวนพืชชนิดเด่นที่พบแปรผกผันกับปริมาณสารหนูที่ตรวจพบในดิน กล่าวคือ ตำแหน่งที่ 5 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่พบสารหนูในดินในปริมาณน้อยที่สุด พบการเจริญของพืชหลากหลายชนิด และสามารถพบพืชชนิดเด่นได้เป็นจำนวนมาก ซึ่งในบริเวณดังกล่าวอาจพบพืชที่มีสมบัติในการดูดซับสารหนูจากดินได้ดี จนปริมาณสารหนูในตำแหน่งที่ 5 มีค่า

ลดลงต่ำที่สุดดังกล่าว ทว่าพืชชนิดนั้นไม่ได้รับการคัดเลือกมาใช้ในการศึกษารั้วนี้ อีกข้อสันนิษฐานหนึ่งคือ มีความเป็นไปได้ว่าพืชชนิดนี้อาจดูดซับสารหนูจากบริเวณนี้และตายไปก่อนการเข้าสำรวจของคณะผู้วิจัย หรือสารหนูอาจถูกชะล้างไปยังบริเวณใกล้เคียง เช่น ตำแหน่งที่ 4 เนื่องจากลักษณะพื้นที่ของตำแหน่งเก็บตัวอย่างที่ 5 อยู่ในระดับที่สูงกว่าตำแหน่งที่ 4 เล็กน้อย อย่างไรก็ตาม เมื่อปริมาณสารหนูในดินของตำแหน่งที่ 5 ลดลงมากเมื่อเทียบกับตำแหน่งศึกษาในบริเวณอื่น ๆ จึงอาจทำให้มีพืชหลากหลายชนิดเจริญเติบโตได้ดีและบางชนิดก็กลายเป็นชนิดเด่น ดังนั้นจะเห็นได้ชัดเจนว่าปริมาณสารหนูในดินส่งผลกระทบต่อความหลากหลายทางชีวภาพของพืชโดยตรง

การเก็บตัวอย่างครั้งนี้พบพืชหลายชนิดที่เป็นพืชอาหารสัตว์ ได้แก่ ถั่วทาวนส์วิลล์สโตโล หล้าพวง หล้าขจรจบ และหญ้าดอกขาว ผลการวิเคราะห์การสะสมสารหนูในพืชดังกล่าว พบว่ามีการลำเลียงสารหนูไปยังส่วนเหนือดินในปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับส่วนที่สะสมใต้ดิน ซึ่งส่วนเหนือดินเป็นส่วนที่ใช้เป็นอาหารสัตว์ การค้นพบดังกล่าวอาจเป็นข้อดีต่อสัตว์ที่กินพืชเหล่านี้เป็นอาหาร อย่างไรก็ตาม การศึกษารั้วนี้มีได้วิเคราะห์ถึงการปนเปื้อนของโลหะหนักหรือสารพิษชนิดอื่นในพื้นที่ จึงยังสมควรปล่อยให้ปศุสัตว์กินพืชเหล่านี้เป็นอาหาร เพราะอาจได้รับพิษจากโลหะหนักประเภทอื่น ๆ ที่ไม่ได้ตรวจสอบในการศึกษานี้ได้

อนึ่ง ผลจากการศึกษารั้วนี้พบว่าถั่วทาวนส์วิลล์สโตโลมีการสะสมสารหนูในรากในปริมาณที่ค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับพืชชนิดอื่นที่นำมาศึกษา (รูปที่ 4) แม้ว่าพืชชนิดนี้จะไม่ใช่ arsenic hyperaccumulator และยังไม่เหมาะแก่การนำไปใช้ในการบำบัดพิษของสารหนูในดิน แต่มีความน่าสนใจเนื่องจากพืชดังกล่าวจัดอยู่ในวงศ์ถั่ว (Fabaceae) จึงมี

การสร้างปมรากที่ภายในมีแบคทีเรียไรโซเบียม ที่ช่วยสร้างความอุดมสมบูรณ์ให้ดินโดยการตรึงไนโตรเจน โดยแท้จริงแล้วพืชชนิดนี้ไม่ใช่พืชท้องถิ่นในประเทศไทย แต่นำเข้ามาเพื่อการปลูกสัตว์ [35] และกลายเป็นวัชพืชที่แพร่กระจายทั่วไปในหลายพื้นที่ รวมถึงในอำเภอทับคล้อแห่งนี้ด้วย ในอนาคตหากมีการค้นพบพืชวงศ์ถั่วที่มีสมบัติในการบำบัดสารพิษในดินและนำมาใช้ในการบำบัดอาจเป็นแนวคิดที่ดี เพราะสามารถบำบัดความเป็นพิษควบคู่ไปกับการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้แกดินได้ ซึ่งต้องอาศัยการศึกษาหาชนิดพันธุ์ที่มีความเหมาะสมต่อไป

5. สรุป

ผลจากการวิเคราะห์สารหนูในดินพบว่ามีความสูงเกินค่ามาตรฐานในทุกบริเวณที่ศึกษา โดยมีค่าต่ำที่สุดในตำแหน่งที่ 5 (6 mg/kg) แต่ยังคงสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน แม้จะยังไม่ทราบสาเหตุการปนเปื้อนสารหนูว่ามาจากเหมืองแร่ทองคำหรือไม่ แต่ชาวชุมชนที่อยู่ในบริเวณดังกล่าวต้องตระหนักรู้และพยายามหลีกเลี่ยงการบริโภคพืชผักหรือน้ำในบริเวณดังกล่าว รวมทั้งบริษัทเหมืองแร่ก็ควรมีมาตรการในการป้องกันการรั่วไหลของสารหนู และมีการบำบัดพิษของสารหนู ซึ่งการบำบัดด้วยพืชก็เป็นอีกวิธีหนึ่งซึ่งประหยัดและยั่งยืนอย่างทีกล่าวมาแล้ว แม้ว่าในการศึกษารั้วนี้ พืชล้มลุกชนิดเด่นทั้ง 11 ชนิด ยังไม่มีชนิดใดเลยที่มีสมบัติเป็น arsenic hyperaccumulator และสามารถนำมาใช้ในการบำบัดพิษของสารหนูได้ จึงควรมีการเฝ้าสังเกตและศึกษาหาพืชท้องถิ่นชนิดอื่นต่อไป โดยหากต้องการนำพืชต่างถิ่นที่มีรายงานการนำมาใช้ ควรกระทำด้วยความระมัดระวัง และป้องกันผลกระทบที่อาจเกิดกับระบบนิเวศ โดยการพยายามหลีกเลี่ยงพืชที่มีการรบกวนที่รุนแรงและกำจัดได้ยาก และควรกำจัดอย่างถูกวิธีเพื่อป้องกันมิให้สารหนูที่สะสมอยู่ในเนื้อเยื่อ

พืชเหล่านั้นกลับมาสู่สิ่งแวดล้อมได้อีก

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมูลนิธิ
สาธารณสุขแห่งชาติ ปี 2558 ทีมผู้วิจัยขอขอบคุณ รอง
ศาสตราจารย์ ดร. เรณู เวชรัชต์พิมล ภาควิชาชีววิทยา
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่ปรึกษา
โครงการฯ และคุณฉัญญารัตน์ สันทรธรรมทัช
ตลอดจนชาวบ้านในตำบลเขาเจ็ดยอด อำเภอทับคล้อ
จังหวัดพิจิตร สำหรับความร่วมมือและให้ความ
ช่วยเหลือในการปฏิบัติงานภาคสนาม

7. รายการอ้างอิง

- [1] Moore, F., Dehbandi, R., Keshavarzi, B. and Amjadian, K., 2016, Potentially toxic elements in the soil and two indigenous plant species in Dashkasan epithermal gold mining area, West Iran, Environ. Earth Sci. 75: 268.
- [2] Ngole-Jeme, V.M. and Fantke, P., 2017, Ecological and human health risks associated with abandoned gold mine tailings contaminated soil, PLoS One 12(2): e0172517.
- [3] รายงานผลการประชุมคณะกรรมการเพื่อแก้ไข
ปัญหาจากการดำเนินการของเหมืองแร่
ทองคำ จังหวัดพิจิตร เพื่อรับทราบผลการ
วิเคราะห์ข้อมูลการปนเปื้อนสารโลหะหนักใน
สิ่งแวดล้อม วันที่ 27 กุมภาพันธ์ 2558 ณ ห้อง
ประชุมหลวงพ่อบุญ ชั้น 4 ศาลากลางจังหวัด
พิจิตร.
- [4] Nriagu, J., Bhattacharya, P., Mukherjee, A., Bundschuh, J., Zevenhoven, R. and Loeppert, R., 2007, Arsenic in Soil and Groundwater: An Overview, Volume 9, Elsevier, Amsterdam.
- [5] Wenzel, W.W., Brandstetter, A., Wutte, H., Lombi, E., Prohaska, T., Stinger, G. and Adriano, D.C., 2002, Arsenic in field-collected soil solutions and extracts of contaminated soils and its implication to soil standards, J. Plant Nutr. Soil Sci. 165: 221-228.
- [6] Takahashi, Y., Minamikawa, R., Hattori, K.H., Kurishima, K., Kihou, N. and Yuita, K., 2004, Arsenic behavior in paddy fields during the cycle of flooded and nonflooded periods, Environ. Sci. Technol. 38: 1038-1044.
- [7] Francesconi, K., Visoottiviseth, P., Sridokchan, W. and Goessler, W., 2002, Arsenic species in an arsenic hyperaccumulating fern, *Pityrogramma calomelanos*: a potential phytoremediator of arsenic-contaminated soils, Sci. Total Environ. 284: 27-35.
- [8] Langsch, J.E., Costa, M., Moore, L., Morais, P., Bellezza, A. and Falcão, S., 2012, New technology for arsenic removal from mining, J. Mater. Res. Technol. 1(3): 178-181.
- [9] Fashola, M.O., Ngole-Jeme, V.M. and Babalola, O.O., 2016, Heavy metal pollution from gold mines: Environmental effects and bacterial strategies for resistance, Int. J. Environ. Res. Public Health 13: 1047.

- [10] Upatham, E.S., Kruatrachue, M., Pokethitiyook, P., Panich-Pat, T. and Lanza, G.R., 2015, Phytoremediation in Thailand: A summary of selected research and case histories, *Phytoremed. Manag. Environ. Contamin.* 1: 333-342.
- [11] Baker, A.J.M. and Walker, P.L., 1990, *Ecophysiology of Metal Uptake by Tolerant Plants*, pp.155-177, In Shaw, A.J. (Ed.), *Heavy Metal Tolerance in Plants: Evolutionary Aspects*, CRC Press, Inc., Florida.
- [12] Baker, A.J.M. and Brooks, R.R., 1989, Terrestrials higher plants which hyper accumulate metallic elements. A review of their distribution, ecology and phytochemistry, *Biorecovery* 1: 81-126.
- [13] ยศเวช สิริจามร, ปราบธนา เพือกวิไล และณิมนารักษ์ อยู่คงแก้ว, 2560, ศักยภาพในการดูดซับและสะสมโลหะหนักของพืชล้มลุกชนิดเด่นบริเวณพื้นที่รอบเหมืองแร่ทองคำ จังหวัดพิจิตร, *ว.วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี* 25(1): 110-123.
- [14] Ko, I.W., Ahn, J.S., Park, Y.S. and Kim, K.W., 2003, Arsenic contamination of soils and sediments from tailings in the vicinity of Myungbong Au mine, Korea, *Chem. Speciat. Bioavailabil* 15(3): 67-74.
- [15] Zhao, F.J., Ma, J.F., Meharg, A.A. and McGrath, S.P., 2009, Arsenic uptake and metabolism in plants, *New Phytol.* 181: 777-794.
- [16] Vamerali, T., Bandiera, M. and Mosca, G., 2010, Field crops for phytoremediation of metalcontaminated land, *Environ. Chem. Lett.* 8: 1-17.
- [17] Zhao, F.J., Dunham, S.J. and McGrath, S.P., 2002, Arsenic hyperaccumulation by different fern species, *New Phytol.* 156: 27-31.
- [18] Andrew, A.M., 2002, Variation in arsenic accumulation hyperaccumulation in ferns and their allies, *New Phytol.* 157: 25-31.
- [19] Ma, L.Q., Komar, K.M., Tu, C., Zhang, W. and Cai, Y., 2001, A fern that hyper-accumulates arsenic, *Nature* 409: 579.
- [20] Sakakibara, M., Sano, S., Inouhe, M., Watanabe, A. and Kaise, T., 2007, Phytoextraction and phytovolatilization of arsenic from ascontaminated soils by *Pteris vittata*, *Contamin. Soils Sedim. Water* 12: 267-272.
- [21] Muhammad, A.K., Amna, Rabia, M., Nadia, M., Jabir, H.S., Asghari, B., Muhammad, T.J., Muhammad, F.H.M., Zhiyuan, T. and Hassan, J.C., 2014, The potential of the flora from different regions of Pakistan in phytoremediation: A review, *Environ. Sci. Pollut. Res.* 21: 801-812.
- [22] Hall, J.B., 1970, *Pteris vittata* Linn, A gold mine fern in Ghana, *Niger Fd.* 35: 1-9.
- [23] Meharg, A.A., 2002, Arsenic and old plants, *New Phytol.* 156: 1-3
- [24] Meharg, A.A., Hartley-Whitaker, J., 2002, Arsenic uptake and metabolism in arsenic resistant and nonresistant plant species, *New Phytol.* 154: 29-43.

- [25] Jankonga, P., Visoottivisetha, P. and Khokiattiwongb, S., 2007, Enhanced phyto-remediation of arsenic contaminated land, *Chemosphere* 68: 1906-1912.
- [26] Kyambadde, J., Kansiime, F., Gumaelius, L. and Dalhammar, G., 2004, A comparative study of *Cyperus papyrus* and *Miscanthidium violaceum*-based constructed wetlands for wastewater treatment in a tropical climate, *Water Res.* 38: 475.
- [27] Jomjun, N., Siripen, T., Maliwan, S., Jintapat, N., Prasak, T., Somporn, C. and Petch, P., 2009, Application of wetland aquatic plants: *Canna glauca* L., *Colocasia esculenta* (L.) Schott, *Cyperus papyrus* L. and *Typha angustifolia* L. in arsenic phytoremediation of submerged soil, *Int. J. Phytoremed.* 13: 35-46.
- [28] Alvarado, S., Guédez, M., Lué-Merú, M.P., Nelson, G., Alvaro, A., Jesús, A.C. and Gyula, Z., 2008, Arsenic removal from waters by bioremediation with the aquatic plants Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*) and Lesser Duckweed (*Lemna minor*), *Bioresour. Technol.* 99: 8436-8440.
- [29] Zhang, X., Zhao, F.J., Huang, Q., Williams, P.N., Sun, G.X. and Zhu, Y.G., 2009, Arsenic uptake and speciation in the rootless duckweed *Wolffia globosa*, *New Phytol.* 182: 421-428.
- [30] Zhang, X., Lin, A.J., Zhao, F.J., Xu, G.Z., Duan, G.L. and Zhu, Y.G., 2008, Arsenic accumulation by the aquatic fern *Azolla*: Comparison of arsenate uptake, speciation and efflux by *Azolla caroliniana* and *Azolla filiculoides*. *Environ. Pollut.* 156: 1149-1155.
- [31] Hoffmann, T., Kutter, C. and Santamaria, J., 2004, Capacity of *Salvinia minima* Baker to tolerate and accumulate As and Pb, *Eng. Life Sci.* 4: 61-65.
- [32] Rahman, M.A., Hasegawa, H., Ueda, K., Maki, T. and Rahman, M.M., 2008, Influence of phosphate and iron ions in selective uptake of arsenic species by water fern (*Salvinia natans* L.), *Chem. Eng. J.* 145: 179-184.
- [33] Chintakovid, W., Visoottiviseth, P., Khokiattiwong, S., Lauengsuchonkul, S., 2008, Potential of the hybrid marigolds for arsenic phytoremediation and income generation of remediators in Ron Phibun district, Thailand, *Chemosphere* 70: 1532-1537.
- [34] Sánchez-Moreiras, A.M., Weiss, O.A. and Reigosa-Roger, M.J., 2003, Allelopathic evidence in the Poaceae, *Bot. Rev.* 69: 300-319.
- [35] กำธน สินธวานนท์, 2533, พืชน้ำอาหารสัตว์ : พันธุ์พืชน้ำอาหารสัตว์จากต่างประเทศ, สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน เล่มที่ 14, โครงการสารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน โดยพระราชประสงค์ในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว, กรุงเทพฯ.