



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 8

The 8th STOU National Research Conference

การชะละลายสารหนูจากดินบริเวณโดยรอบเหมืองแร่ทองคำ ตำบลเขาหลวง อำเภอวังสะพุง จังหวัดเลย

The Leaching of Arsenic from Soil Around Gold Mine Kaoluang Sub-District,

Wang Saphung District, Loei Province

เบญจวรรณ ชัยศรี (Benjawan Chaisri)¹ อรุบล โชติพงษ์ (Arubol Chotipong)² จักรพันธ์ สุทธิรัตน์ (Chakkaphan Sutthirat)³ศีลาวุธ ดำรงศิริ (Seelawut Damrongsiri)⁴

บทคัดย่อ

การศึกษาการชะละลายสารหนูจากดินด้วยวิธี Synthetic Precipitation Leaching Procedure (SPLP) และการกระจายสัดส่วนของสารหนูในส่วนประกอบต่างๆ ของดิน ด้วยวิธีการสกัด Modified Tessier ในพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนบริเวณโดยรอบเหมืองแร่ทองคำ อำเภอวังสะพุง จังหวัดเลย จำนวน 9 ตัวอย่าง โดยแบ่งเป็น ดินที่ลุ่ม 6 ตัวอย่างและดินเนินเขา 3 ตัวอย่าง พบว่าตัวอย่างดินที่ลุ่มและดินเนินเขามีค่าการชะละลายของสารหนูโดยเฉลี่ยเท่ากับ 1.04 และ 0.12 มิลลิกรัม/กิโลกรัมตามลำดับ หรือเท่ากับร้อยละ 3.15 และ 1.45 ของปริมาณสารหนูทั้งหมด ส่วนการกระจายสัดส่วนของสารหนูในดินที่ลุ่มและดินเนินเขาพบว่า ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของส่วนตกค้างซึ่งเป็นของแข็ง (F5) โดยมีค่าสัดส่วนเท่ากับร้อยละ 70 และ 83 ของปริมาณสารหนูทั้งหมดตามลำดับ รองลงมาคือส่วนที่ถูกตรึงอยู่กับเหล็กและแมงกานีสออกไซด์ (F3) สำหรับดินที่ลุ่มซึ่งเท่ากับร้อยละ 20 และส่วนที่ถูกตรึงอยู่กับสารอินทรีย์ (F4) สำหรับดินเนินเขาซึ่งเท่ากับร้อยละ 10 สำหรับส่วนอื่นๆ ที่เหลือพบได้ในสัดส่วนที่ค่อนข้างต่ำในดินทั้งสองประเภท โดยสารหนูที่อยู่ในรูปของส่วนที่ตกค้าง (F5) มีลักษณะเป็นของแข็งที่ละลายได้ยาก ซึ่งสอดคล้องกับผลการชะละลายที่พบว่าน้ำสกัด SPLP ชะละลายสารหนูในดินดังกล่าวได้ในปริมาณที่น้อยมาก

คำสำคัญ การชะละลาย การกระจายสัดส่วน สารหนู เหมืองแร่ทองคำ

¹ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย benjawanobenoo@gmail.com

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อาจารย์ สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย Arubol.C@chula.ac.th

³ รองศาสตราจารย์ ดร. ผู้อำนวยการ สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย c.sutthirat@gmail.com

⁴ นักวิจัย สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย Seelawut.Da@chula.ac.th



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 8

The 8th STOU National Research Conference

Abstract

Leaching of arsenic from soil following Synthetic Precipitation Leaching Procedure (SPLP) and fractionation of arsenic in soil composition through modified tessier sequential extraction procedure were investigated. Nine samples of soil in contaminated area around gold mine, Wungsapung District, Loie province were divided into six samples of soil from lowland and three samples of soil from upland. The study found that the average arsenic leaching of lowland and upland soil samples was 1.04 and 0.12 mg/kg or 3.15% and 1.45% of total arsenic in soils, respectively. The fractionation of arsenic revealed the major fraction of residual arsenic (F5) with 70% for the lowland and and 83% for the upland soil samples. The arsenic bound to Fe-Mn oxides (F3) which was 20% for the lowland soil samples, and the arsenic bound to organic matter (F4) which was 10% for the upland soil samples were found in the minor fraction. The rest fractions in both soil types were quit low. Importantly, the results of high residual arsenic fraction (F5), which was solid and indissoluble, were corresponded with the very low arsenic leaching in SPLP extraction solution.

Keywords: Leaching, Fraction, Arsenic, Gold Mining



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 8

The 8th STOU National Research Conference

บทนำ

พื้นที่ตำบลเขาหลวง อำเภอวังสะพุง จังหวัดเลย เป็นพื้นที่แหล่งแร่ทองคำ ในกระบวนการทางธรณีสายแร่ทองคำเกิดขึ้นจากสารละลายแร่ที่มีแร่ทองคำและธาตุอื่นๆ เป็นส่วนประกอบและเมื่อสารละลายแร่ดังกล่าวสัมผัสกับอากาศจะทำให้เกิดการตกผลึกสะสมของทองคำและธาตุอื่นๆ ในหิน โดยสารหนู (Arsenic, As) เป็นธาตุที่พบร่วมกับทองคำเนื่องจากสามารถตกผลึกในช่วงเดียวกันกับทองคำ ซึ่งส่วนใหญ่พบในรูปของอาร์ซีนไพไรต์ (Arsenopyrite) (เกษม จันทรจรรยาพงษ์, 2519; Boyle and Jonasson, 1973) จึงส่งผลให้พื้นที่ดังกล่าวมีการกระจายตัวของสารหนูที่ค่อนข้างสูงกว่าพื้นที่อื่น โดยสารหนูจัดสารอันตรายโดยองค์กร The Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) ซึ่งพบว่าสารหนูติดอันดับ 1 ในสารที่อันตรายที่สุด (ATSDR, 2007) ในปี พ.ศ. 2555 สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม ได้ทำการวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะหนักในดินทั้งหมด 75 จุด ครอบคลุมทั้งในพื้นที่เหมือง และนอกพื้นที่เหมืองซึ่งประกอบด้วยลุ่มน้ำทั้ง 3 ลุ่มน้ำ ได้แก่ ลุ่มน้ำห้วย ลุ่มน้ำห้วยเหล็ก และลุ่มน้ำห้วยผุก โดยมีการวิเคราะห์โลหะหนัก ได้แก่ สารหนู ตะกั่ว แมงกานีส โปรท แคดเมียม และทองแดง พบว่าสารหนูมีค่าเกินมาตรฐานซึ่งระบุไว้ไม่เกิน 3.9 มก./กก. เป็นจำนวน 46 จุด (มาตรฐานคุณภาพดิน ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25 (พ.ศ. 2547)) ซึ่งเท่ากับ 61.33% ของสถานที่ทั้งหมด (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2555) โดยสารหนูปริมาณที่สูงจะส่งผลกระทบต่ออาการเจริญเติบโตของพืช สิ่งมีชีวิตในดินและความอุดมสมบูรณ์ของดิน นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบต่อมนุษย์ เนื่องจากพืชจะมีความสามารถในการดูดซับโลหะหนักไปสะสมในส่วนต่างๆ ของพืช โดยพืชจะดูดซับโลหะหนักจากดินผ่านทางรากและไปสะสมอยู่ในส่วนต่างๆ ของพืช ไม่ว่าจะเป็น ลำต้น ใบ และผล (Yosim et al., 2015) ก่อให้เกิดการสะสมโลหะหนักในห่วงโซ่อาหาร เนื่องจากมนุษย์และสัตว์กินพืชเป็นอาหาร ส่งผลให้มนุษย์และสัตว์ได้รับโลหะหนักเข้าสู่ร่างกายโดยตรงอีกทางหนึ่ง ซึ่งก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ต่อไปได้ (วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, 2541)

การชะละลายเป็นหนึ่งในปัจจัยที่สำคัญที่จะทำให้สารหนูในดินสามารถแพร่กระจายออกสู่สิ่งแวดล้อมได้ (Spence and Shi, 2005) ซึ่งการชะละลายสารหนูจากดินที่มีลักษณะเป็นเม็ดเล็กๆ จะมีกลไกในการไหลผ่านของน้ำชะที่เป็นตัวควบคุมการชะละลาย นอกจากนี้ยังมีปัจจัยต่างๆ ทางด้านสิ่งแวดล้อมที่อิทธิพลต่อการชะละลาย (ธัญชนก ภารกุล, 2551) โดยปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมในด้านความเป็นกรดของน้ำฝนเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของสารหนูในพื้นที่ เนื่องจากน้ำฝนตามธรรมชาติจะมีความเป็นกรดเล็กน้อย ประมาณ 5.6 - 6.0 ซึ่งเกิดจากการละลายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ แต่ในเขตอุตสาหกรรมจะมีการปล่อยก๊าซจำพวกสารประกอบของซัลเฟอร์และไนโตรเจนออกมา ทำให้น้ำฝนมีความเป็นกรดต่างต่ำกว่า 5.5 ซึ่งทำให้เกิดสภาวะฝนกรดขึ้นและในบางครั้งหากมีหมอกหนาที่บดบังทัศนวิสัยการมองเห็นสามารถเข้าถึงได้ถึง 2.0 (ศุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา, 2545)

การสะสมของโลหะในสิ่งแวดล้อมมีด้วยกันหลายรูปแบบ ตั้งแต่รูปแบบที่สามารถถูกปลดปล่อยออกมาได้ง่ายไป รูปแบบที่มีการสะสมอยู่ในตะกอนหรือในสิ่งมีชีวิต และรูปแบบที่ยึดเกาะกันด้วยพันธะที่แข็งแรงที่ถูกปลดปล่อยออกมาได้ยาก โดยรูปแบบของโลหะหนักจะส่งผลกระทบต่อความสามารถในการดูดซับโลหะหนักของพืช ซึ่งการสกัดโลหะหนักในดินด้วยวิธีต่างๆ เป็นการจำลองสถานการณ์ตามธรรมชาติที่เกิดในดิน โดยสารละลายที่ใช้สกัดมีความคล้ายคลึงกับสิ่งแวดล้อมที่มีอยู่ในธรรมชาติ หลักการในการสกัดแบบลำดับขั้น คือการใช้สารสกัดที่มีความรุนแรงน้อย และค่อยๆ เพิ่มความรุนแรงของสารสกัดให้เพิ่มมากขึ้น ซึ่งการสกัดด้วยวิธี Tessier (Tessier et al., 1979) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการจำแนกการกระจายสัดส่วนของ



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 8

The 8th STOU National Research Conference

โลหะหนักโดยแบ่งออกเป็น 5 ส่วน (Fractions) ดังนี้ ส่วนที่ 1 คือ ส่วนที่แลกเปลี่ยนได้ง่าย (Exchangeable) ส่วนที่ 2 คือ ส่วนที่ถูกตรึงอยู่กับคาร์บอเนต (Bound to carbonates) ส่วนที่ 3 คือ ส่วนที่ถูกตรึงอยู่กับเหล็กและแมงกานีสออกไซด์ (Bound to iron and manganese oxide) ส่วนที่ 4 คือ ส่วนที่ถูกตรึงอยู่กับสารอินทรีย์ (Bound to organic matter) ส่วนที่ 5 คือ ส่วนที่ตกค้าง (Residual)

ในการศึกษาครั้งนี้จึงศึกษาค่าความเป็นกรดต่างของน้ำชะต่อการชะละลายสารหนูในสภาวะฝนกรดด้วยวิธี Synthetic Precipitation Leaching Procedure (SPLP) ซึ่งมีการควบคุมค่าความเป็นกรดต่างโดยใช้กรดซัลฟิวริกผสมกับกรดไนตริกเป็นสารชะละลายเพื่อจำลองสภาวะน้ำฝนที่เป็นกรด พร้อมทั้งศึกษาการกระจายสัดส่วนของสารหนูในดินโดยการสกัดด้วยวิธี Modified Tessier (Rauret et al., 1989) เพื่อนำมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของการกระจายสัดส่วนของสารหนูในดินกับความเข้มข้นของสารหนูที่จะถูกชะละลายออกมาจากดินที่รูปแบบต่างๆ

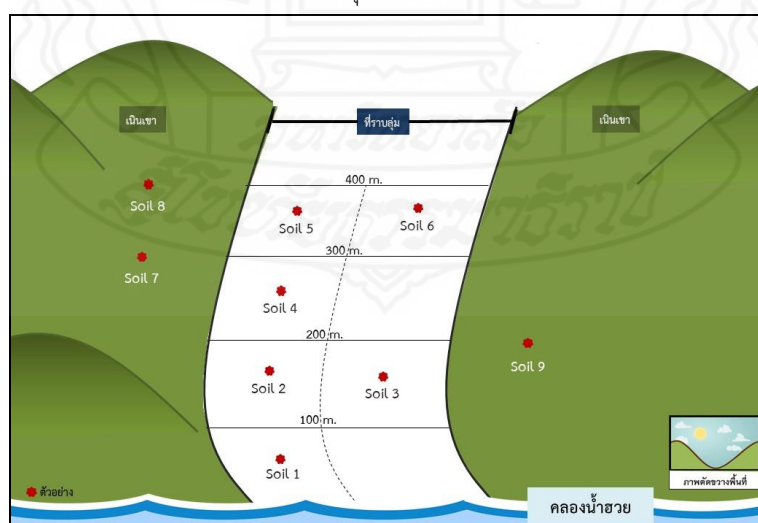
วัตถุประสงค์

1. ศึกษาผลของพีเอชผลต่อการชะละลายสารหนูในดิน
2. ศึกษาผลของการกระจายสัดส่วนของสารหนูในดินต่อการชะละลาย

ระเบียบวิธีวิจัย

1. ตัวอย่าง

ดินบริเวณโดยรอบเหมืองแร่ทองคำ ตำบลเขาหลวง อำเภอวังสะพุง จังหวัดเลย ซึ่งการเก็บตัวอย่างดินจำนวน 9 จุด แบ่งเป็นดินที่ลุ่ม 6 จุด (Soil 1 - Soil 6) และดินเนินเขา 3 จุด (Soil 7 - Soil 9) โดยแต่ละจุดจะเก็บตัวอย่างดินแบบรวม (Composite sample) เพื่อใช้เป็นตัวแทนของดินในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง



รูปที่ 1 จุดเก็บตัวอย่าง



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 8

The 8th STOU National Research Conference

2. การวิเคราะห์คุณสมบัติพื้นฐานของตัวอย่างดิน

ตัวอย่างดินในแต่ละจุดจะมีการวิเคราะห์คุณสมบัติพื้นฐานของตัวอย่างโดยมีรายละเอียดดังนี้และวิธีการวิเคราะห์ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์คุณสมบัติพื้นฐานของตัวอย่างดิน

คุณสมบัติที่วิเคราะห์	วิธีวิเคราะห์
1. ค่าความเป็นกรดด่าง (pH)	U.S.EPA 9045D (U.S.EPA, 2004) ผสมดินและน้ำกลั่นอัตราส่วน 1:1 และตรวจวัดด้วยเครื่อง pH Meter
2. สภาพปฏิกิริยารีดอกซ์ (ORP)	ASTM G200 – 09 (ASTM, 2014) ผสมดินและน้ำอัตราส่วน 1:1 และตรวจวัดด้วยเครื่อง ORP Meter
3. ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (OM)	Walkley and Black Method (Walkley and Black, 1934) สกัดด้วยสารละลาย 1N Potassium Dichromate และไทเทรตด้วย 0.5N Ammonium Ferrous Sulfate
4. ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก (CEC)	U.S.EPA 9080 (U.S.EPA, 1986) สกัดด้วยสารละลาย 1N Ammonium Acetate
5. ลักษณะเนื้อดิน (Soil texture)	ASTM D422 - 63 (ASTM, 2002) ตรวจวัดด้วยเครื่อง Hydrometer

3. การวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารหนูทั้งหมดด้วยวิธี U.S. EPA 3051A

ความเข้มข้นของสารหนูทั้งหมดด้วยวิธี U.S. EPA 3051A: Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludges, Soils and Oils (U.S.EPA, 2007) เริ่มจากการชั่งตัวอย่างดิน 0.5 กรัม ใส่ใน Vessel เติมสารละลายกรดไนตริกเข้มข้น (65% HNO_3) ปริมาตร 2 มิลลิลิตร และกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (37% HCl) ปริมาตร 6 มิลลิลิตร นำเข้าเครื่อง Microwave digestion นำสารละลายที่ได้จากการย่อยกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 ก่อนจะนำไปวิเคราะห์เพื่อหาความเข้มข้นของสารหนูด้วยเครื่อง Inductively coupled plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES)

4. การวิเคราะห์การชะละลายด้วยวิธี Synthetic Precipitation Leaching Procedure (SPLP)

การทดสอบการชะละลายด้วยวิธี SW-846 EPA Method 1312: Synthetic Precipitation Leaching Procedure (SPLP) (U.S.EPA, 1994) เริ่มจากการเตรียมน้ำสกัด โดยการผสมกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) กับกรดไนตริก (HNO_3) ในอัตราส่วน 60 : 40 โดยน้ำหนัก แล้วนำไปปรับพีเอชด้วยน้ำกลั่นจนมีค่าพีเอชเท่ากับ 2 จากนั้นใส่น้ำสกัดที่เตรียมไว้ 20 มิลลิลิตร ในหลอด Centrifuge ที่มีตัวอย่างดิน 1 กรัม แล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องหมุนที่มีอัตราการหมุน 30 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 18 ชั่วโมง นำสารละลายที่ได้จากการชะละลายกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 0.45 ไมโครเมตร แล้วปรับพีเอชให้น้อยกว่า 2 ด้วยกรดไนตริก 1 นอร์มอล ก่อนจะนำไปวิเคราะห์เพื่อหาความเข้มข้นของสารหนูด้วยเครื่อง Inductively coupled plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES)



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 8

The 8th STOU National Research Conference

5. การวิเคราะห์การกระจายสัดส่วนของสารหนูในดินการสกัดด้วยวิธี Modified Tessier

การกระจายสัดส่วนของสารหนูในดินการสกัดด้วยวิธี Modified Tessier (Rauret et al., 1989) เริ่มจากการชั่งตัวอย่างดิน 0.8 กรัม ใส่ในหลอด Centrifuge ขนาด 40 มิลลิลิตร จากนั้นเติมน้ำสกัดในแต่ละขั้นตอนตามตารางที่ 2 เมื่อสิ้นสุดการสกัดแต่ละขั้นตอน นำตัวอย่างดินในน้ำสกัดดังกล่าวไปหมุนเหวี่ยง และเก็บตัวอย่างน้ำสกัดด้วย Auto pipette ระวังไม่ให้ตัวอย่างฟุ้งกระจายขึ้นมา จากนั้นล้างตัวอย่างที่เหลือด้วยการเติมน้ำกลั่นปริมาตร 7 mL ปิดฝาเขย่าด้วยมือ และนำไปหมุนเหวี่ยง 30 นาที ทิ้งน้ำในส่วนนี้ไป จากนั้นนำหลอด Centrifuge เดิมที่มีตัวอย่างดินอยู่ไปใช้ทำการทดลองในขั้นตอนต่อไป เมื่อสิ้นสุดการทดลองให้นำตัวอย่างน้ำที่เก็บมารองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 0.45 ไมโครเมตรก่อนจะนำไปวิเคราะห์เพื่อหาความเข้มข้นของสารหนูด้วยเครื่อง Inductively coupled plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES)

ตารางที่ 2 รายละเอียดวิธีการสกัดด้วยวิธี Modified Tessier

ส่วน	สารเคมีที่ใช้	อุณหภูมิและเวลาที่เขย่า	
		อุณหภูมิ (°C)	เวลา (ชั่วโมง)
F1	1 M MgCl ₂ ปริมาตร 6.4 mL	25	1
F2	1 M NaOAc (pH 5.0) ปริมาตร 35 mL	25	5
F3	0.04 M NH ₂ OH·HCl in 25% (v/v) HOAc ปริมาตร 35 mL	96	6
F4	0.02 M HNO ₃ ปริมาตร 2.4 mL และ 30% H ₂ O ₂ (pH 2.0) ปริมาตร 4 mL	85	2
	30% H ₂ O ₂ (pH 2.0) ปริมาตร 2.4 mL	85	3
	3.2 M NH ₄ OAc in 20% (v/v) HNO ₃ ปริมาตร 4 mL	25	0.5
F5	Conc. HNO ₃ ปริมาตร 2 mL และ Conc. HCl ปริมาตร 6 mL	107	1

6. การควบคุมคุณภาพของการตรวจสอบวิเคราะห์โลหะหนัก

การควบคุมคุณภาพในการย่อยตัวอย่างดินเพื่อการวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารหนูทั้งหมดได้ดำเนินการย่อยสารมาตรฐานของดิน ซึ่งได้แก่ Standard Reference Material 2711a (Montana II soil) และ European Reference Material ERM - CC141 (Loam soil) โดยจะได้ดำเนินการย่อยตัวอย่างสารมาตรฐานดังกล่าวด้วยกระบวนการเดียวกันกับการย่อยตัวอย่างดินเป็นจำนวน 3 ซ้ำ เพื่อตรวจสอบความแม่นยำและปริมาณร้อยละคืนกลับ (% Recovery) ของวิธีย่อยตัวอย่าง โดยจะยอมรับค่าร้อยละคืนกลับของการย่อยตัวอย่างที่ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน $\pm 10\%$ การควบคุมคุณภาพในการวิเคราะห์ตัวอย่างโดยการวิเคราะห์ซ้ำจำนวน 3 ซ้ำในแต่ละตัวอย่าง และในแต่ละซ้ำมีการตรวจวัดผลการวิเคราะห์โลหะหนักจำนวน 3 ครั้ง เพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่แม่นยำในทุกพารามิเตอร์ที่วิเคราะห์



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 8

The 8th STOU National Research Conference

ผลการวิจัย

1. การวิเคราะห์คุณสมบัติพื้นฐานของตัวอย่างดิน

การวิเคราะห์คุณสมบัติพื้นฐานของตัวอย่างดิน มีรายละเอียดดังตารางที่ 3 โดยพบว่าค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ของตัวอย่างดินที่ลุ่ม (Soil 1 - Soil 6) อยู่ในช่วง 5.28 – 6.04 และมีความเป็นกรดน้อยกว่าตัวอย่างดินที่เนินเขา (Soil 7 - Soil 9) ซึ่งอยู่ในช่วง 4.99 – 5.73 สภาพปฏิกิริยารีดอกซ์ (ORP) ของตัวอย่างทั้งดินที่ลุ่มและดินเนินเขามีค่าอยู่ในช่วง 324.40 - 384.03 มิลลิโวลต์ และ 389.13 – 462.23 มิลลิโวลต์ตามลำดับ ซึ่งเป็นช่วงที่บ่งชี้ว่าดินอยู่ในสภาวะที่มีอากาศส่งผลให้จุลินทรีย์ในดินที่ใช้ออกซิเจนในการเจริญเติบโตสามารถเจริญเติบโตได้ดี (LePage, 2001) ในส่วนของปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (OM) ตัวอย่างดินที่ลุ่มมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 2.07 – 2.82 ซึ่งอยู่ระดับปานกลาง เมื่อเทียบกับเกณฑ์ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินของกรมพัฒนาที่ดิน ที่กำหนดให้ดินมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงมีค่ามากกว่าร้อยละ 2 (เกษตรและสหกรณ์, 2553) ขณะที่ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินของตัวอย่างดินเนินเขาอยู่ในระดับสูง คืออยู่ในช่วงร้อยละ 1.65 – 3.64 ส่วนค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก (CEC) ซึ่งหมายถึง ความสามารถของดินในการดูดซับธาตุอาหาร พบว่าตัวอย่างทั้งที่ดินที่ลุ่มและดินเนินเขามีค่าใกล้เคียงกันและอยู่ในระดับต่ำ นั่นคืออยู่ในช่วง 11.31 – 16.51 $\text{cmol}_c\cdot\text{kg}^{-1}$ และ 7.54 – 12.50 $\text{cmol}_c\cdot\text{kg}^{-1}$ (เกณฑ์ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกในดิน ของกรมพัฒนาที่ดิน ที่กำหนดให้ดินที่มีค่า CEC สูง มีค่ามากกว่า 25 $\text{cmol}_c\cdot\text{kg}^{-1}$) นอกจากนี้ยังพบว่าเนื้อดินตัวอย่างดินที่ลุ่มเนื้อดินส่วนใหญ่เป็นดินเหนียว ขณะที่ตัวอย่างดินเนินเขามีทั้งส่วนที่เป็นดินเหนียว ดินร่วนเหนียว และดินร่วน

ตารางที่ 3 คุณสมบัติพื้นฐานของตัวอย่างดิน

ตัวอย่าง	pH	ORP (mV)	OM (%)	CEC ($\text{cmol}_c\cdot\text{kg}^{-1}$)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	เนื้อดิน
ตัวอย่างดินที่ลุ่ม								
Soil 1	5.28 ± 0.01	378.50 ± 9.24	2.60	12.60	25.2	30.2	44.6	ดินเหนียว
Soil 2	6.00 ± 0.02	324.40 ± 1.80	2.07	11.92	31.2	31.2	37.6	ดินร่วนเหนียว
Soil 3	5.93 ± 0.16	359.27 ± 12.75	2.31	11.31	25.4	28.0	46.6	ดินเหนียว
Soil 4	5.56 ± 0.08	374.30 ± 12.85	2.82	16.51	14.2	39.4	46.4	ดินเหนียว
Soil 5	6.04 ± 0.55	338.13 ± 6.07	2.15	13.70	15.2	34.4	50.4	ดินเหนียว
Soil 6	5.86 ± 0.05	384.03 ± 8.40	2.52	12.10	21.2	40.2	38.6	ดินร่วนเหนียว
ตัวอย่างดินเนินเขา								
Soil 7	4.99 ± 0.07	462.23 ± 10.71	3.00	9.49	39.4	28.2	32.4	ดินร่วนเหนียว
Soil 8	5.17 ± 0.04	441.70 ± 4.21	3.64	12.50	25.2	28.2	46.6	ดินเหนียว
Soil 9	5.73 ± 0.10	389.13 ± 9.05	1.65	7.54	49.0	32.4	18.6	ดินร่วน



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 8

The 8th STOU National Research Conference

2. ความเข้มข้นของสารหนูทั้งหมดด้วยวิธี U.S. EPA 3051A

ผลการศึกษาความเข้มข้นของสารหนูทั้งหมด ด้วยวิธี U.S.EPA 3051A : Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludges, Soils and Oils (U.S.EPA, 2007) พบว่าตัวอย่างดินมีความเข้มข้นของสารหนูอยู่ในช่วงระหว่าง 7.73 - 40.95 มิลลิกรัม/กิโลกรัม โดยตัวอย่างดินที่ลุ่มมีความเข้มข้นของสารหนูทั้งหมดโดยเฉลี่ย 33.88 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และตัวอย่างดินเนินเขามีความเข้มข้นของสารหนูทั้งหมดโดยเฉลี่ย 12.15 มิลลิกรัม/กิโลกรัม แสดงดังรูปที่ 1 ทั้งนี้ความเข้มข้นสารหนูในตัวอย่างดินเนินเขาจะแสดงความเป็นค่าความเข้มข้นพื้นฐานของสารหนูในพื้นที่ (background) เนื่องจากเนินเขามีลักษณะภูมิประเทศที่มีความลาดชันสูงจึงทำให้ไม่มีการปนเปื้อนจากปัจจัยอื่นๆ และเมื่อเกิดการพังทลายหรือถูกกัดเซาะจึงทำสารหนูในพื้นที่ดังกล่าวมีค่าที่ต่ำกว่าดินที่ลุ่มที่มีลักษณะภูมิประเทศที่เป็นแอ่ง ซึ่งเมื่อมีการทับถมของตะกอนที่ถูกน้ำพัดพามาสะสมจึงเป็นการเพิ่มปริมาณสารหนูในดินให้เพิ่มมากขึ้น และผลที่ได้นี้พบว่าสอดคล้องกับงานวิจัยของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2555) ที่ศึกษาความเข้มข้นของสารหนูในดินในพื้นที่แหล่งแร่ทองคำภูทับฟ้า ตำบลเขาหลวง อำเภอสว่างแดนดิน จังหวัดเลย โดยพบว่าค่าความเข้มข้นพื้นฐานของสารหนูในพื้นที่อยู่ในช่วงระหว่าง 0.00 – 13.50 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และในส่วนของพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนมีความเข้มข้นของสารหนูอยู่ในช่วงระหว่าง 13.50 – 94.4 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

3. การชะละลายด้วยวิธี Synthetic Precipitation Leaching Procedure (SPLP)

ผลการศึกษาการชะละลายด้วยวิธี Synthetic Precipitation Leaching Procedure (SPLP) ซึ่งเป็นวิธีที่จำลองเพื่อคาดการณ์การชะละลายสารหนูในสภาวะฝนกรดที่พีเอชเท่ากับ 2 จากการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของสารหนูที่ชะละลายออกมามีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0.00 – 1.84 มิลลิกรัม/กิโลกรัม โดยตัวอย่างดินที่ลุ่มมีค่าการชะละลายของสารหนูโดยเฉลี่ย 1.04 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และตัวอย่างดินเนินเขามีค่าการชะละลายของสารหนูโดยเฉลี่ย 0.12 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งมีรายละเอียดดังรูปที่ 1

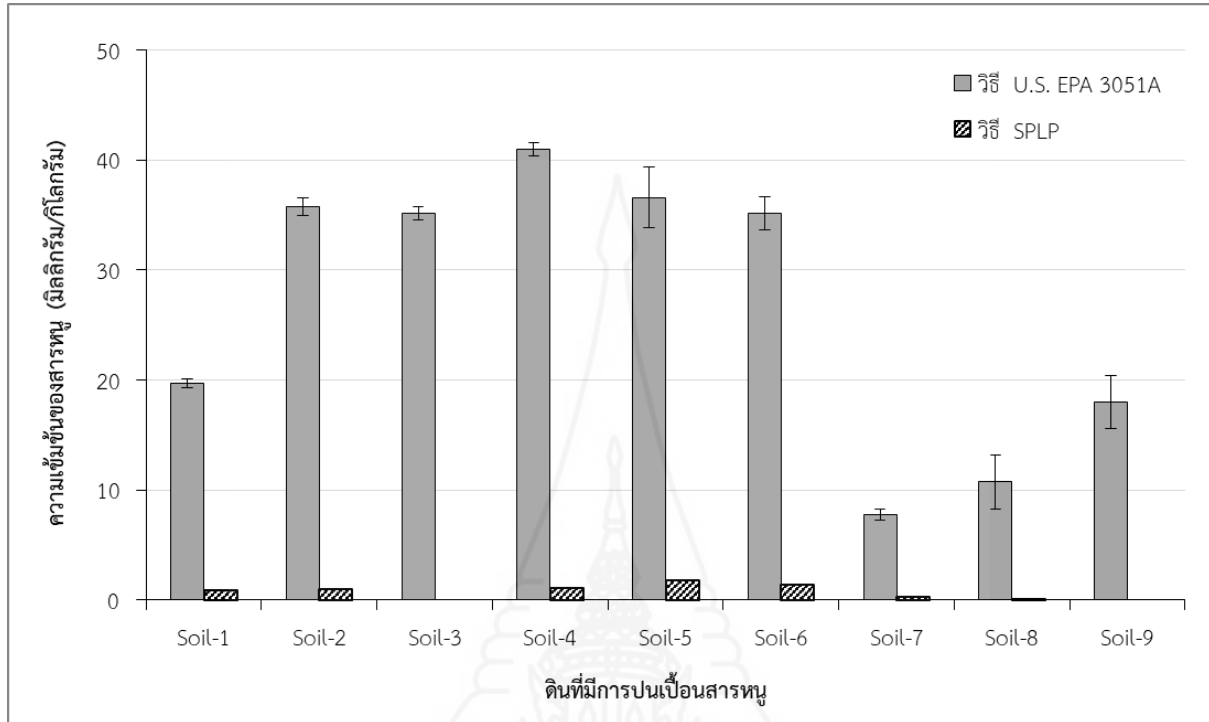
4. เปรียบเทียบระหว่างความเข้มข้นของสารหนูทั้งหมดกับสารหนูที่ถูกชะละลายด้วยวิธี SPLP

เมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของสารหนูทั้งหมดในดินกับสารหนูที่ถูกชะละลายออกมาด้วยวิธี SPLP พบว่าสารหนูที่ถูกชะละลายออกมาคิดเป็นร้อยละ ND - 5.03 ของความเข้มข้นสารหนูทั้งหมดในดิน โดยตัวอย่างดินที่ลุ่มและดินเนินเขามีค่าการชะละลายเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 3.15 และ 1.45 ตามลำดับ ซึ่งให้ผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Jang (2002) ที่พบว่าสารหนูที่สกัดด้วยวิธีการ SPLP ในดินที่ปนเปื้อนด้วยน้ำยารักษาเนื้อไม้ที่ประเทศสหรัฐอเมริกา ถูกชะละลายได้เพียงร้อยละ 6.5 ของความเข้มข้นของสารหนูทั้งหมดในดิน โดยปัจจัยที่สำคัญที่มีอิทธิพลต่อความสามารถในการชะละลายโลหะหนักจากดินคือค่าพีเอช โดยโลหะหนักจะสามารถแพร่กระจายได้ดีในน้ำชะที่มีค่าพีเอชต่ำ



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 8

The 8th STOU National Research Conference



รูปที่ 2 ความเข้มข้นของสารหนูทั้งหมดและความเข้มข้นของสารหนูที่ชะละลายด้วยวิธี SPLP

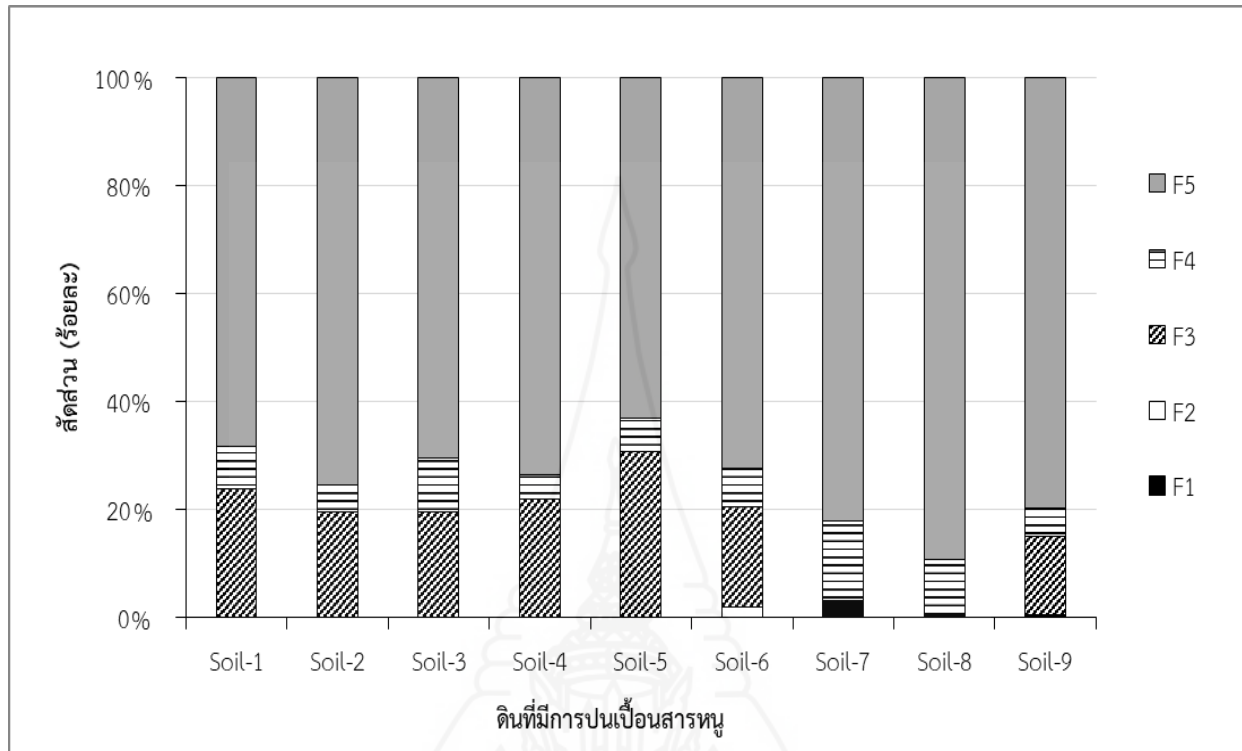
5. การกระจายสัดส่วนของสารหนูในดินการสกัดด้วยวิธี Modified Tessier

ผลการศึกษาการกระจายสัดส่วน (Fractions) ของสารหนูด้วยวิธีการ Modified Tessier พบว่าดินที่ลุ่มมีความเข้มข้นของสารหนูในส่วนที่แลกเปลี่ยนได้ง่าย (F1) ส่วนที่ถูกตรึงอยู่กับคาร์บอเนต (F2) ส่วนที่ถูกตรึงอยู่กับเหล็กและแมงกานีสออกไซด์ (F3) ส่วนที่ถูกตรึงอยู่กับสารอินทรีย์ (F4) และส่วนที่ตกค้าง (F5) คิดเป็นร้อยละ 0.13, 0.32, 22.33, 6.69 และ 70.53 ของปริมาณสารหนูที่พบทั้งหมดตามลำดับ และดินเนินเขามีค่าสัดส่วนของสารหนูคิดเป็นร้อยละ 1.46, 0.00, 4.88, 10.02 และ 83.64 ตามลำดับ ซึ่งมีรายละเอียดดังรูปที่ 2 จะเห็นได้ว่าตัวอย่างดินทั้งที่ลุ่มและเนินเขามีการกระจายสัดส่วนสารหนูส่วนใหญ่อยู่ในมีส่วนที่ตกค้าง (F5) นอกจากนี้สัดส่วนที่รองลงมาของตัวอย่างดินที่ลุ่มจะอยู่ในส่วนที่ถูกตรึงอยู่กับเหล็กและแมงกานีสออกไซด์ (F3) โดยเฉลี่ยร้อยละ 20 แต่ในส่วนของตัวอย่างดินเนินเขาจะอยู่ในส่วนที่ถูกตรึงอยู่กับสารอินทรีย์ (F4) โดยเฉลี่ยร้อยละ 10 ซึ่งผลการวิจัยนี้ให้ผลที่สอดคล้องกับงานวิจัยของ Giacomino (2010) ที่ศึกษาการกระจายสัดส่วนของสารหนูที่ปนเปื้อนในดิน ประเทศอิตาลี พบว่าสารหนูส่วนใหญ่อยู่ในส่วนที่ตกค้าง (F5) คิดเป็นร้อยละ 75 และงานวิจัยของ Silveira et al. (2006) ที่ศึกษาการกระจายสัดส่วนของโลหะหนักในดิน ประเทศบราซิล พบว่าโลหะหนักส่วนใหญ่อยู่ในส่วนที่ถูกตรึงอยู่กับเหล็กและแมงกานีสออกไซด์ (F3) และส่วนที่ตกค้าง (F5) เนื่องจากดินในเขตร้อนชื้น โดยส่วนใหญ่มีความเข้มข้นของเหล็กและแมงกานีสออกไซด์สูง จึงทำให้ปริมาณโลหะหนักที่สามารถยึดเกาะกับเหล็กและแมงกานีสออกไซด์ได้มีค่าสูงตามไปด้วย



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 8

The 8th STOU National Research Conference



รูปที่ 3 กระจายสัดส่วนของสารหนูในดินโดยการสกัดด้วยวิธี Modified Tessier

อภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาพบว่าความสามารถในการชะละลายสารหนูด้วยวิธี SPLP ในทั้งดินที่ลุ่มและดินเนินเขาในพื้นที่โดยรอบเหมืองแร่ทองคำนั้น มีค่าน้อยมากคือ ร้อยละ 5.03 ของความเข้มข้นสารหนูทั้งหมดในดิน ทั้งนี้เนื่องจากว่าองค์ประกอบของดินโดยส่วนใหญ่อยู่ในส่วนตกค้าง (F5) ซึ่งมีลักษณะเป็นของแข็งที่ละลายได้ยาก สูงถึงร้อยละ 70 - 80 จึงทำให้น้ำสกัดด้วยวิธี SPLP ชะละลายสารหนูดังกล่าวออกมาได้น้อยมาก

ข้อเสนอแนะ

ศึกษาการชะละลายของสารหนูด้วยวิธีต่างๆ เพื่อให้ได้ผลของการชะละลายที่สอดคล้องกับความเข้มข้นของสารหนูทั้งหมด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) และสำนักพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สวท.) สำหรับทุนอุดหนุนโปรแกรมวิจัย ขอขอบคุณกองทุนรัชดาภิเษกสมโภช จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 8

The 8th STOU National Research Conference

สำหรับทุนสนับสนุนหน่วยปฏิบัติการวิจัยฯ และขอขอบคุณสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม และศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการสารและของเสียอันตราย (ศสอ.) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้อำนวยความสะดวกและสนับสนุนในด้านเครื่องมือและอุปกรณ์วิทยาศาสตร์อันเป็นประโยชน์ต่อความสำเร็จของการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- เกษม จันทรจรรยาพงษ์. (2519). ธรณีเคมีของสารหนูและการใช้ประโยชน์ในการสำรวจแร่. *ข่าวสารธรณีวิทยา*. กรุงเทพมหานคร.
- เกษตรและสหกรณ์, กระทรวง. กรมพัฒนาที่ดิน. (2553). คู่มือการวิเคราะห์ตรวจสอบดินทางเคมี (e-Learning for Training). สืบค้นเมื่อ 15 สิงหาคม 2561, จาก: <http://www.ddd.go.th/PMQA/2553/Manual/OSD-03.pdf>
- ธัญชนก ภารกุล. (2551). *การชะละลายระยะยาวของโลหะหนักในมอร์ต้าที่ทำด้วยปูนซีเมนต์จากกระบวนการเผาไหม้ที่มีกากอุตสาหกรรมปนโลหะหนัก*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร.
- วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กระทรวง. กรมควบคุมมลพิษ.(2541). *สารหนู*. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรมควบคุมมลพิษ, กรุงเทพมหานคร.
- ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา. (2545). *ภาวะมลพิษของดินจากการใช้สารเคมี*. พิมพ์ครั้งที่ 3. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ , สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.
- จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม. (2555). *โครงการสำรวจการกระจายตัวและแหล่งที่มาของการปนเปื้อนโลหะหนักในเขตพื้นที่แหล่งแร่ทองคำภูทับฟ้า ต.เขาหลวง อ.วังสะพุง จ.เลย*. กรุงเทพมหานคร: บริษัท จีรล สนิทวงศ์ การพิมพ์ จำกัด.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). (2007). *TOXICOLOGICAL PROFILE FOR ARSENIC* (e-Learning for Training). Retrieved August 16, 2018 , Available from: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp2.pdf>
- ASTM International. (2002). ASTM D422-63. *tandard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils*. ASTM International, West Conshohocken, USA.
- ASTM International. (2014). ASTM G200-09. *Standard Test Method for Measurement of Oxidation-Reduction Potential (ORP) of Soil*. ASTM International, West Conshohocken, USA.
- Boyle, R. W., and Jonasson, I. R. (1973). The geochemistry of arsenic and its use as an indicator element in geochemical prospecting. *Journal of Geochemical Exploration*, 2, 251-296.
- Giacomino, A., Malandrino, M., Abollino, O., Velayutham, M., Chinnathangavel, T. and Mentasti, E. (2010). An approach for arsenic in a contaminated soil: Speciation, fractionation, extraction and effluent decontamination. *Environmental Pollution*, 416-423.



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 8

The 8th STOU National Research Conference

- Jang, Y. C., Townsend, T. G., Ward, M., and Bitton, G. (2002). Leaching of Arsenic, Chromium, and Copper in a Contaminated Soil at a Wood Preserving Site. *Environmental Contamination and Toxicology*, 808–816.
- LePage, B. A. (Editors). (2001). *Wetlands : Integrating Multidisciplinary Concepts*. Springer, Netherlands.
- Rauret, G., Rubio, R., and López-Sánchez, J. F. (1989). Optimization of Tessier Procedure for Metal Solid Speciation in River Sediments. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 69-83.
- Spence, R. D., and Shi, C. (2005). *Stabilization and Solidification of Hazardous, Radioactive, and Mixed Wastes*. CRC Press.
- Silveira, M. L., Alleoni, L. R., O'Connor, G. A., and Chang, A. C. (2006). Heavy metal sequential extraction methods--a modification for tropical soils. *Chemosphere*, 64, 1929-1938.
- Tessier, A., Campbell, P. G. C. and Bisson, M. (1979). Sequential Extraction Procedure for the Speciation of Particulate Trace Metals. *Analytical Chemistry*, 51, 844-851.
- United States Environmental Protection Agency (U.S.EPA). (1986). *SW-846 Test Method 9080: Cation-Exchange Capacity of Soils (Ammonium Acetate)* (e-Learning for Training). Retrieved August 16, 2018, Available from: <https://19january2017snapshot.epa.gov/sites/production/files/201512/documents/9080.pdf>
- United States Environmental Protection Agency (U.S.EPA). (1994). *SW-846 Test Method 1312: Synthetic Precipitation Leaching Procedure* (e-Learning for Training). Retrieved August 16, 2018, Available from: <https://www.epa.gov/hw-sw846/sw-846-test-method-1312-synthetic-precipitation-leaching-procedure>.
- United States Environmental Protection Agency (U.S.EPA). (2007). *SW-846 Test Method 3051A: Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludges, Soils, and Oils* (e-Learning for Training). Retrieved August 16, 2018, Available from: <https://www.epa.gov/sites/production/files/201507/documents/epa-6020a.pdf>.
- United States Environmental Protection Agency (U.S.EPA). (2004). *SW-846 Test Method 9045D: Soil and Waste pH* (e-Learning for Training). Retrieved August 16, 2018, Available from: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/9045d.pdf>
- Walkley A.; Black, I. A. (1934). AN EXAMINATION OF THE DEGTJAREFF METHOD FOR DETERMINING SOIL ORGANIC MATTER, AND A PROPOSED MODIFICATION OF THE CHROMIC ACID TITRATION METHOD. *Soil Science*, 37, 29-38.
- Yosim, A., Bailey, K., and Fry, R. C. (2015). Arsenic, the "King of Poisons", in food and water. *American Scientist*, 103(1), 34-41.