

อภิญา ทองอั้ง : การตรึงสารหนูโดยธรรมชาติในพื้นที่ชุ่มน้ำธรรมชาติบริเวณเหมืองทอง
ทุ่งคำ อำเภอสว่างซ่ง จังหวัดเลย (NATURAL ATTENUATION OF ARSENIC IN NATURAL
WETLANDS AT THUNG KHAM GOLD MINE WANG SAPHUNG DISTRICT, LOEI
PROVINCE)

อาจารย์ที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์ ดร. เนตรนภิส ตันเต็มทรัพย์, 127 หน้า.

คำสำคัญ : สารหนู, เหมืองทองคำ, ตะกอนดิน, การตรึงโดยธรรมชาติ, แสงซินโครตรอน, XANES

บริเวณพื้นที่อำเภอสว่างซ่ง จังหวัดเลย สารหนูในดินเกิดขึ้นตามกระบวนการทางธรณีวิทยา
ธรรมชาติ จากการแทรกตัวของหินอัคนีชนิดแกรโนไดโอไรต์ที่พดพาสารละลายแร่โลหะขึ้นมาสะสม
ตัวตามรอยแตกของหินทราย โดยพบสารหนูในรูปแบบของแร่อาร์เซโนไฟไรต์ (Arsenopyrite;
FeAsS) สะสมตัวร่วมกับสายแร่ทองคำ กระบวนการผุพังตามธรรมชาติและกิจกรรมการทำเหมือง
ทองคำ ส่งผลให้สารหนูถูกปลดปล่อยและไหลมาทับถมในลำห้วยภูเหล็ก ซึ่งเป็นระบบนิเวศลำน้ำ
ธรรมชาติติดกับพื้นที่เหมือง โดยสารหนูจะเข้ายึดเกาะกับแร่เหล็กและอะลูมิเนียมออกไซด์ในตะกอน
ดิน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อ (1) ศึกษาปริมาณสารหนูและองค์ประกอบทางเคมีของตะกอน
ดินในพื้นที่ชุ่มน้ำธรรมชาติ พร้อมทั้งอธิบายความสัมพันธ์ของปัจจัยแวดล้อมที่ส่งผลต่อรูปแบบการ
กระจายตัวของสารหนูตามระดับความลึกและระยะทาง และ (2) จำแนกรูปแบบทางเคมี ตลอดจน
อธิบายความสัมพันธ์และกลไกการเปลี่ยนรูปของสารหนูในตะกอนดิน การศึกษานี้ดำเนินการเก็บ
ตัวอย่างตะกอนดิน ณ ลำห้วยภูเหล็ก ตามระยะทาง 3 จุด ได้แก่ จุดต้นน้ำ จุดกลางน้ำ และจุดปลาย
น้ำ โดยเก็บตัวอย่างทุกความลึก 5 เซนติเมตร จนถึงระดับความลึกสูงสุด 150 เซนติเมตร จากนั้น
นำตัวอย่างมาวิเคราะห์ปริมาณสารหนูด้วยเครื่อง ICP-OES และ ED-XRF ควบคู่กับการประยุกต์ใช้
เทคนิคสเปกโทรสโกปีการดูดกลืนรังสีเอกซ์บริเวณขอบใกล้ (X-ray Absorption Near Edge
Structure: XANES)

ผลการศึกษาพบว่า ตะกอนดินในพื้นที่ศึกษามีลักษณะเป็นดินลูกรังเนื้อละเอียดที่อุดมไปด้วย
กลุ่มแร่เหล็ก (ร้อยละ 4.73–78.21) และอะลูมิเนียมออกไซด์ (ร้อยละ 0–6.47) โดยตรวจพบปริมาณ
สารหนูทั้งหมดอยู่ในช่วงความเข้มข้น 0 ถึง 1,911 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน
คุณภาพดินและค่าพื้นฐานทางธรณีเคมีตามธรรมชาติอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อพิจารณาการกระจายตัว
ตามความลึกพบว่า ปริมาณสารหนูทั้งหมดในชั้นตะกอนส่วนบน (ความลึก 0–40 เซนติเมตร) มีค่าสูง
กว่าชั้นตะกอนระดับล่าง (ความลึก 45–150 เซนติเมตร) อย่างมีนัยสำคัญในทุกจุดเก็บตัวอย่าง และ
ตรวจพบสัดส่วนของอาร์เซเนต (As^{5+}) สูงกว่าอาร์เซไนต์ (As^{3+}) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในภาพรวม
ทั้งนี้ จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติเพื่อเปรียบเทียบตามระดับความลึก พบว่า ปริมาณ
ความเข้มข้นของทั้งอาร์เซเนต (As^{5+}) และอาร์เซไนต์ (As^{3+}) ต่างมีรูปแบบการกระจายตัวในทิศทาง
เดียวกัน กล่าวคือ มีปริมาณการสะสมตัวสูงในชั้นตะกอนส่วนบน และมีแนวโน้มลดต่ำลงอย่างมี
นัยสำคัญทางสถิติเมื่อเข้าสู่ชั้นตะกอนระดับล่าง ($p < 0.05$)

สำหรับการจำแนกรูปแบบทางเคมีด้วยเทคนิค XANES ผ่านแบบจำลอง LCF แสดงให้เห็นว่า
สารหนูส่วนใหญ่ในตะกอนดินสะสมตัวอยู่ในรูปอาร์เซเนต (As^{5+}) โดยมีลักษณะการเปลี่ยนผ่านของแร่

รอนรับ ตามระดับความลึกอย่างชัดเจน ในชั้นตะกอนผิวหน้า (ความลึก 5–40 เซนติเมตร) ภายใต้สภาวะออกซิไดซ์ สารหนูส่วนใหญ่ถูกตรึงไว้อย่างเสถียรในรูปอาร์เซเนตบนแร่กิบไซต์ (As^{5+} -Gibbsite, $\gamma\text{-Al}(\text{OH})_3$) ในสัดส่วนสูงสุดถึงร้อยละ 88.0 อย่างไรก็ตาม เมื่อระดับความลึกเพิ่มมากขึ้นและสภาพแวดล้อมเริ่มเข้าสู่สภาวะรีดิวซ์ พบการเปลี่ยนผ่านของแร่รอนรับไปสู่กลุ่มแร่เหล็กออกไซด์ โดยมีแร่เกอไทต์ (As^{5+} -Goethite, $\alpha\text{-FeO}(\text{OH})$) และเลปโดโครไซต์ (As^{5+} -Lepidocrocite, $\gamma\text{-FeO}(\text{OH})$) กลายเป็นองค์ประกอบหลักที่ควบคุมกลไกการดูดซับในชั้นดินลึก (ความลึก 100–150 เซนติเมตร) นอกจากนี้ ยังตรวจพบว่าสัดส่วนของอาร์เซไนต์ (As^{3+}) มีการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญตามความลึกที่เพิ่มขึ้น โดยมีค่าสูงสุดที่ร้อยละ 32.1 ที่ระดับความลึก 150 เซนติเมตร การเพิ่มขึ้นของอาร์เซไนต์ (As^{3+}) สอดคล้องกับการตรวจพบการลดลงของค่าพลังงานขอบดูดกลืน (E_0) จากเดิมที่ระดับประมาณ 11,871.4 อิเล็กตรอนโวลต์ (eV) ในชั้นดินผิวหน้า ลงมาอยู่ที่ระดับ 11,867.6 อิเล็กตรอนโวลต์ในชั้นดินล่างสุด ซึ่งเป็นการยืนยันถึงกระบวนการรีดักชันที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ ทั้งนี้แบบจำลองการวิเคราะห์ที่นำมาใช้นั้นมีความน่าเชื่อถือสูงทางสถิติ โดยมีค่า R-factor อยู่ในช่วง 0.008 ถึง 0.042

สรุปภาพรวมได้ว่า กลไกการตรึงสารหนูในพื้นที่ชุ่มน้ำลำห้วยภูเหล็กเกิดขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพในตะกอนส่วนบน โดยยึดเกาะกับอะลูมิเนียมออกไซด์ในรูปอาร์เซเนต (As^{5+}) เมื่อระดับความลึกเพิ่มมากขึ้นสู่ตะกอนชั้นล่างภายใต้สภาวะรีดิวซ์ แร่รอนรับจะเปลี่ยนเป็นกลุ่มเหล็กออกไซด์ควบคู่กับสัดส่วนอาร์เซไนต์ (As^{3+}) ที่เพิ่มขึ้น ดังนั้น จึงมีข้อเสนอแนะเชิงนโยบายว่าควรหลีกเลี่ยงการขุดลอกลำน้ำหรือกิจกรรมที่รบกวนชั้นตะกอน เพื่อป้องกันการเปลี่ยนสภาวะรีดอกซ์ฉับพลันที่อาจกระตุ้นให้แร่เหล็กละลายและปลดปล่อยสารหนูสู่แหล่งน้ำ พร้อมทั้งควรให้ความสำคัญกับการคงสภาพของอะลูมิเนียมและเหล็กออกไซด์ตามธรรมชาติ เพื่อรักษากลไกการเป็นแหล่งกันชน (Buffer) ตรึงสารหนูของระบบนิเวศอย่างยั่งยืน

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา 2568

ลายมือชื่อนักศึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

APINYA TONGUNTANG : NATURAL ATTENUATION OF ARSENIC IN NATURAL
WETLANDS AT THUNG KHAM GOLD MINE WANG SAPHUNG DISTRICT, LOEI
PROVINCE

THESIS ADVISOR: ASSOC. PROF. NETNAPID TANTEM SAPYA, Ph.D., 127 PP.

Keyword: Arsenic, Gold mine, Sediment, Natural attenuation, Synchrotron radiation, XANES

In Wang Saphung District, Loei Province, arsenic in the soil occurs through natural geological processes due to the intrusion of granodiorite rocks that transport mineralized hydrothermal fluids to accumulate along sandstone fractures. Arsenic is primarily found in the form of arsenopyrite (FeAsS) co-occurring with gold veins. Natural weathering processes and gold mining activities have resulted in the release and subsequent deposition of arsenic in the Huai Phu Lek stream, a natural lotic ecosystem adjacent to the mining area. Within this system, arsenic adsorbs onto iron and aluminum oxides in the sediments. The primary objectives of this research were (1) to study the total arsenic content and chemical composition of sediments in the natural wetland, as well as to explain the relationships of environmental factors affecting the spatial distribution patterns of arsenic across depth and distance; and (2) to characterize the chemical speciation, along with elucidating the relationships and transformation mechanisms of arsenic in the sediments. This study conducted sediment sampling at Huai Phu Lek stream along three main stations: upstream, midstream, and downstream. Samples were collected at 5-centimeter depth intervals down to a maximum depth of 150 centimeters. The samples were then analyzed for arsenic content using ICP-OES and ED-XRF, coupled with the application of an advanced spectroscopic technique, X-ray Absorption Near Edge Structure (XANES).

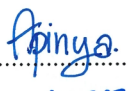
The results revealed that the sediments in the study area were fine-grained lateritic soils enriched with iron oxides (4.73–78.21%) and aluminum oxides (0–6.47%). Total arsenic concentrations were detected ranging from 0 to 1,911 mg/kg, which significantly exceeded soil quality standards and natural geochemical background levels. Regarding depth distribution, the total arsenic content in the upper sediment layer (0–40 cm depth) was significantly higher than in the lower sediment layer (45–150 cm depth) across all sampling sites. Furthermore, the proportion of arsenate (As^{5+}) was found to be statistically significantly higher than that of arsenite (As^{3+}) overall. According to the analysis of variance (ANOVA) comparing depth levels, the absolute concentrations of both arsenate (As^{5+}) and arsenite (As^{3+}) exhibited the same distribution trend; there was a high accumulation in the upper sediment layer, which

tended to decrease significantly as it transitioned into the lower sediment layer ($p < 0.05$).

For chemical speciation, the XANES technique via the LCF model demonstrated that the majority of arsenic in the sediments accumulated as arsenate (As^{5+}), with a distinct transition of host minerals along the depth profile. In the surface sediment layer (5–40 cm depth) under oxidizing conditions, arsenic was predominantly and stably immobilized as arsenate adsorbed on gibbsite (As^{5+} -Gibbsite, $\gamma\text{-Al}(\text{OH})_3$) at a maximum proportion of 88.0%. However, as depth increased and the environment transitioned into reducing conditions, a shift in host minerals towards iron oxides was observed. Goethite (As^{5+} -Goethite, $\alpha\text{-FeO}(\text{OH})$) and lepidocrocite (As^{5+} -Lepidocrocite, $\gamma\text{-FeO}(\text{OH})$) became the primary components controlling the adsorption mechanism in the deeper soil layers (100–150 cm depth). Furthermore, the proportion of arsenite (As^{3+}) was found to increase significantly with depth, reaching a maximum of 32.1% at a depth of 150 cm. This increase in the highly toxic arsenic species corresponded well with the observed decrease in the absorption edge energy (E_0) value from approximately 11,871.4 electron volts (eV) in the upper soil layer down to 11,867.6 eV in the bottommost layer, confirming the natural reduction process. The analytical model utilized was highly reliable statistically, with R-factor values ranging from 0.008 to 0.042.

In conclusion, the arsenic immobilization mechanism in the Huai Phu Lek wetland functions efficiently in the upper sediment layers, where arsenic predominantly binds to aluminum oxides as arsenate (As^{5+}). As depth increases into the lower sediments under reducing conditions, the host minerals shift to iron oxides, accompanied by an increased proportion of arsenite (As^{3+}). Therefore, it is recommended as a policy guideline to avoid stream dredging or activities that disturb the sediment profile. This precaution prevents sudden redox alterations that could trigger the dissolution of iron minerals and the subsequent release of arsenic into the water source. Additionally, management strategies should prioritize preserving the natural state of aluminum and iron oxides to sustainably maintain their role as a buffer for arsenic immobilization within the ecosystem.

School of Environmental Engineering
Academic Year 2025

Student's Signature 
Advisor's Signature 
Co-Advisor's Signature 