คุณภาพน้ำและการปนเปื้อนสารหนูในตะกอนดินและพรรณไม้น้ำบริเวณเหมืองแร่ทองคำ

Water Quality and Arsenic Contamination in Sediment and Aquatic Plants in Gold Mining Area

ศิริลักษณ์ บุญมี,[1] ลำไย ณีรัตนพันธุ์[2*]
Sirilak Boonmee,[1] Lamyai Neeratanaphan[2*]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณภาพน้ำ ปริมาณสารหนูในตะกอนดินและพรรณไม้น้ำบริเวณเหมืองแร่ทองคำ จังหวัดเลย จำนวน 3 จุดเก็บตัวอย่าง ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อตรวจวัดคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมี นอกจากนี้ยังทำการตรวจวัดปริมาณสารหนูในตะกอนดินและในพรรณไม้น้ำชนิดเด่นด้วยเทคนิค ICP-MS ผลการศึกษาพบว่าบริเวณเหมืองแร่ทองคำมีพรรณไม้น้ำทั้งหมด 8 ชนิด ชนิดเด่นที่พบคือ บอน (*Colocasia esculenta*) และตาลปัตรฤาษี (*Limnocharis flava*) คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน โดยค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของน้ำ มีค่าอยู่ในช่วง 27.70-28.10 องศาเซลเซียส ค่า pH อยู่ในช่วง 6.80-7.02 ค่าออกซิเจนละลายในน้ำ อยู่ในช่วง 4.50-6.70 mg/l และค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี อยู่ในช่วง 1.65-2.16 mg/l ปริมาณสารหนูในตะกอนดินทุกจุดเก็บตัวอย่างมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม จุดที่ 2 เป็นจุดใกล้กับเหมืองแร่ซึ่งพบมากที่สุด มีค่าอยู่ในช่วง 229.964-277.324 mg/kg ส่วนปริมาณสารหนูในพรรณไม้น้ำชนิดเด่นมีค่ามากน้อยแตกต่างกันในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง ซึ่งจุดที่ 2 พบปริมาณสารหนูมากกว่าจุดที่ 1 และ 3 แต่มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กระทรวงสาธารณสุขตามมาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน ผลการศึกษาในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่ามีการปนเปื้อนของสารหนูในตะกอนดินที่สูงมากและส่งผลต่อการสะสมของสารหนูในพรรณไม้น้ำสูงตามไปด้วย

คำสำคัญ: สารหนู ตะกอนดิน พรรณไม้น้ำ เหมืองแร่ทองคำ

Abstract

This research aims to study water quality and arsenic contamination in sediment samples and aquatic plants in gold mining area at Loei province. Three sampling locations along impacted area

[1] *นักศึกษาปริญญาโท,* [2] *อาจารย์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002*

[1] *Graduate student,* [2] *Lecturer, Department of Environmental Science, Faculty of Science, Khon Kaen University, Khon Kaen Province 40002, Thailand.*

** Corresponding author: Lamyai Neeratanaphan, Department of Environmental Science, Faculty of Science, Khon Kaen University, Khon Kaen Province 40002, Thailand.*

were indicated. Samples of water, sediment samples and aquatic plants were collected at each station. Physical and chemical parameters were measured from water samples. Sediment samples and aquatic plants were analyzed for arsenic by the Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) technique. The results of this study showed that the 8 species of aquatic plants, including *Colocasia esculenta* and *Limnocharis flava* are dominant species. Physical and chemical parameters of water were not higher than the standard values of surface water quality (the Pollution Control Department of Thailand). The average values of temperature, pH, dissolved oxygen and biochemical oxygen demand were 27.70-28.10 ^{0}C, 6.80-7.02, 4.50-6.70 mg/l and 1.65 -2.16 mg/l, respectively. Arsenic concentrations in sediment samples from three locations were higher than the Maximum Concentration Level (MCL) of soils used for living and agriculture. Especially, the arsenic content in site2 was in the range of 229.964-277.324 mg/kg. Arsenic concentrations in *C. esculenta* and *L. flava* were different due to the location, site2 was higher than site1 and 3 but all sites were not exceed 2 mg/kg, the standard level for food defined by the Ministry of Thai Public Health for Arsenic. The results of this study indicated that high arsenic contamination was found in sediment samples and already had effect on the arsenic accumulation in the aquatic plants.

Keywords: Arsenic Sediment Aquatic Plants Gold Mine

บทนำ

ประเทศไทยถือได้ว่ามีศักยภาพทางแร่ทองคำสูง มีหลักฐานการค้นพบแร่ทองคำทั่วทุกภูมิภาคของประเทศ[1] โดยเฉพาะแนวการเกิดแร่ทองคำที่เหมืองแร่ทองคำภูทับฟ้า อำเภอวังสะพุง จังหวัดเลย และกิจกรรมการแต่งแร่ทำให้เพิ่มปริมาณสารหนูในสิ่งแวดล้อมมากขึ้น ซึ่งการทำอุตสาหกรรมเหมืองแร่โดยทั่วไปสามารถส่งผลกระทบได้ 2 ประการคือ ผลกระทบที่เกิดจากตัวแร่และผลกระทบที่เกิดจากการดำเนินการโดยผลกระทบที่เกิดจากตัวแร่ โดยทั่วไปแร่ธาตุต่างๆ ที่นำมาใช้ประโยชน์จะอยู่ภายใต้เปลือกโลกในรูปของสารประกอบเมื่อมีการทำเหมืองเพื่อนำตัวแร่มาใช้ เช่น โครเมียม แมงกานีส ตะกั่ว สังกะสี ขณะที่ทำการขุด ตัวแร่เหล่านี้อาจปะปนลงในดินและแหล่งน้ำ ซึ่งพืชที่เจริญเติบโตอยู่บริเวณนั้นสามารถสะสมแร่ธาตุดังกล่าว จนสามารถถ่ายทอดมายังมนุษย์โดยตรงหรือทางห่วงโซ่อาหาร ทำให้มนุษย์และสิ่งมีชีวิตในบริเวณเหมืองและพื้นที่ใกล้เคียงได้รับสารพิษไปด้วย ส่วนผลกระทบที่เกิดจากการดำเนินการ เช่น การเปิดหน้าดินก่อให้เกิดการชะล้างและพังทลายของดิน[2] ทำให้น้ำในแหล่งน้ำขุ่น ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศและสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในบริเวณพื้นที่ดังกล่าว อย่างไรก็ตามสิ่งเจือปนเหล่านี้ปกติแล้วก็มีอยู่ในธรรมชาติ เพียงแต่มีชนิด ปริมาณ สัดส่วนหรือการกระจายตัวที่เพิ่มขึ้นหรือเปลี่ยนแปลงไปในสิ่งแวดล้อมและมีค่าไม่เกินความสามารถที่กระบวนการทางธรรมชาติจะบำบัดตัวเองได้ และปัญหาที่เกิดขึ้นจากการประกอบกิจการเหมืองแร่ทองคำภูทับฟ้า กรมควบคุมมลพิษ[3] ได้รายงานว่าเมื่อปี 2550 และ 2551 มีการศึกษาผลกระทบจากการทำเหมืองแร่ทองคำภูทับฟ้า อำเภอวังสะพุง จังหวัดเลย พบว่ามีดินจากเหมืองไหลลงมายังพื้นที่เกษตรกรรมของชาวบ้าน จนสร้างความเสียหายให้กับต้นยางที่ปลูกและน้ำรั่วซึมออกมาจากคันดินของบ่อกักเก็บกากแร่ จากเหตุการณ์ดังกล่าวทำให้พบว่ามีสารหนูในปริมาณ

สูงไหลลงสู่พื้นที่เกษตรกรรม คาดว่าสารหนูน่าจะส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำ

สารหนูเป็นธาตุที่กระจายทั่วไปอยู่ในธรรมชาติ โดยสารหนูเกิดจากการผุกร่อนของเปลือกโลกและมักอยู่ในรูปของสารประกอบอาร์เซไนด์หรือซัลไฟด์ ถูกนำใช้ในด้านอุตสาหกรรม และด้านการเกษตร สารหนูเป็นสารมลพิษโดยตรงจากการทำเหมืองที่สามารถแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อมได้ ทั้งมาจากการชะล้างน้ำฝน การปล่อยน้ำเสียที่ปนเปื้อนสารหนูสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ด้วยคุณสมบัติของสารหนูที่มีจุดหลอมเหลว 817 องศาเซลเซียส และจุดเดือด 613 องศาเซลเซียส ทำให้ไม่ละลายน้ำและแขวนลอยอยู่ในแหล่งน้ำ[4] เมื่อจับตัวกับอนุภาคของดินสามารถตกตะกอนและทับถมลงสู่พื้นท้องน้ำ

พรรณไม้น้ำเป็นตัวอย่างของสิ่งมีชีวิตที่ช่วยในการบำบัดสารพิษในสิ่งแวดล้อมและทำให้เกิดการสมดุลในระบบนิเวศแหล่งน้ำ แต่หากสิ่งเจือปนที่ลงสู่แหล่งน้ำมีจำนวนมากเกินไป พรรณไม้น้ำเหล่านั้นจำเป็นต้องมีการปรับตัว ผลของมลพิษในแหล่งน้ำอาจมีผลต่อพรรณไม้น้ำ เนื่องจากทุกส่วนหรือบางส่วนของพืชน้ำสัมผัสกับน้ำตลอดเวลา

ผลกระทบจากการทำเหมืองแร่ทองคำดังกล่าวเป็นสาเหตุทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะศึกษาคุณภาพน้ำอีกทั้งปริมาณสารหนูในตะกอนดินและพรรณไม้น้ำบริเวณเหมืองแร่ทองคำ เนื่องจากแหล่งน้ำบริเวณใกล้เคียงได้รับผลกระทบโดยตรงจากการปนเปื้อนของสารหนูที่เกิดจากกระบวนการทำเหมืองแร่ ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้จะทำให้ทราบถึงคุณภาพน้ำ ปริมาณสารหนูในตะกอนดินและพรรณไม้น้ำบริเวณเหมืองแร่ทองคำ เพื่อให้ได้ข้อมูลพื้นฐานที่เป็นประโยชน์ต่อการจัดการพื้นที่ที่มีความเสี่ยงจากการได้รับสารหนูในสิ่งแวดล้อมต่อไป

วิธีการการศึกษา

1. ขอบเขตการศึกษา

ตรวจวัดคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมี ได้แก่ ได้แก่ อุณหภูมิ, pH, ค่า DO และ ค่า BOD รวมถึงปริมาณสารหนูในตะกอนดินและพรรณไม้น้ำชนิดเด่น

2. สถานที่ศึกษา

ลำน้ำบริเวณพื้นที่รอบเหมืองแร่ทองคำ “ภูทับฟ้า” อำเภอวังสะพุง จังหวัดเลย และสถานที่ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ ตะกอนดิน และพรรณไม้น้ำ คือ ห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

3. จุดเก็บตัวอย่าง

กำหนดจุดเก็บตัวอย่างในลำน้ำบริเวณพื้นที่รอบเหมืองแร่ทองคำ อ.วังสะพุง จังหวัดเลย จำนวน 3 จุดเก็บตัวอย่าง (Figure 1)

4. การตรวจวัดคุณภาพน้ำ

การตรวจวัดคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมี ได้แก่ อุณหภูมิ, pH, DO และ BOD โดยทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำตามวิธีการมาตรฐาน APHA, AWWA and WEF[5] ดังรายละเอียดต่อไปนี้

- การตรวจวัดอุณหภูมิน้ำโดยใช้เครื่อง Thermometer

- การตรวจวัด pH โดยใช้เครื่อง pH meter ตามวิธีการหาค่าแบบ Electrometric รุ่น EcoScan pH5, Eutech

- การตรวจวัด DO โดยใช้เครื่อง DO meter รุ่น YSI 550A

- การตรวจวัด BOD โดยใช้ วิธีโดยตรง (Direct method)

5. การตรวจวัดปริมาณสารหนู

ตรวจวัดปริมาณสารหนูในตัวอย่างตะกอนดิน และพรรณไม้น้ำโดยการเตรียมตัวอย่างตาม APHA, AWWA and WEF[5] และตรวจวัดปริมาณสารหนูด้วยเครื่อง Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) รุ่น 7500C

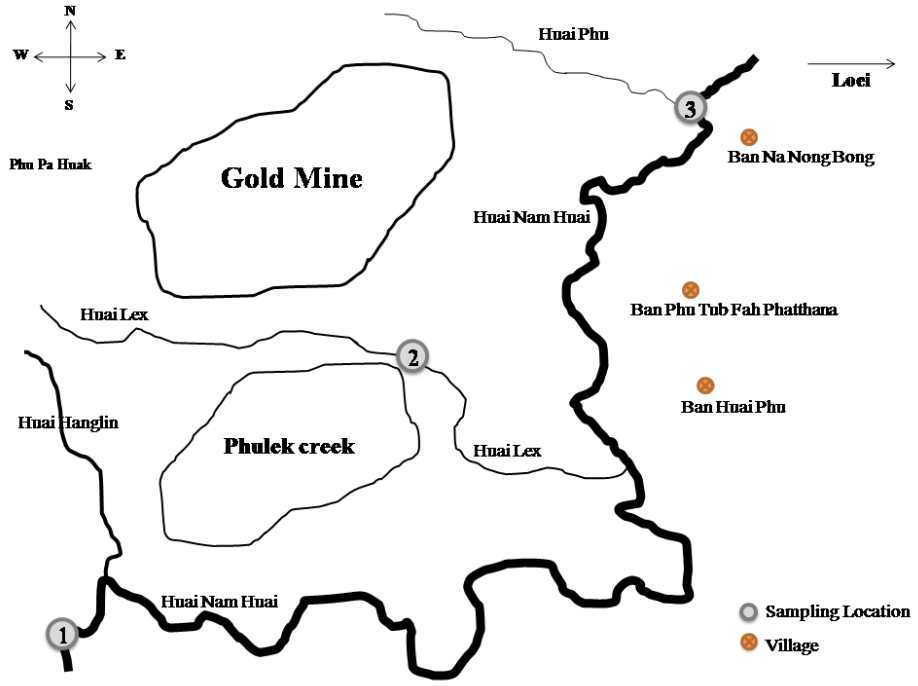

Figure 1 Overview of the gold mining area and locations of the three studied sites as shown by numbers 1 to 3 Sample collections

ผลการศึกษา

ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมี ปริมาณสารหนูในตะกอนดินและพรรณไม้น้ำในพื้นที่บริเวณรอบเหมืองแร่ทองคำ ดังต่อไปนี้

1. พรรณไม้น้ำชนิดเด่น

พบพรรณไม้น้ำทั้งหมด 8 ชนิด บริเวณลำน้ำในพื้นที่รอบเหมืองแร่ทองคำ ตำบลเขาหลวง อำเภอวังสะพุง จังหวัดเลย โดยจำแนกประเภทตามที่พบได้ 2 ประเภท คือ ประเภทลอยน้ำ 3 ชนิด ได้แก่ จอกหูหนู (*Salvinia cucullata*), แพงพวยน้ำ (*Jussiaea repens*) และผักบุ้ง (*Ipomoea aquatica*) ตามลำดับ และประเภทชายน้ำ 5 ชนิด ได้แก่ เอื้องเพชรม้า (*Polygonum tomentosum*), บอน (*Colocasia esculenta* (L.) Schott), ตาลปัตรฤาษี (*Limnocharis flava* (L.) Buch), หญ้าขน (*Brachiaria mutica* [Forssk.] *Stapf*) และผักกระเฉด (*Neptunia oleracea*) ตามลำดับ พรรณไม้น้ำชนิดเด่น คือ บอน ตาลปัตรฤาษี (Figure 2)

Figure 2 *Colocasia esculenta* (1) and *Limnocharis flava* (2)

2. ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำ

ผลการตรวจวัดอุณหภูมิ, pH, DO และ BOD ของน้ำตัวอย่าง (Table1) พบว่าค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของน้ำ มีค่าอยู่ในช่วง 27.70-28.10 องศาเซลเซียส และคุณภาพทางกายภาพและเคมีของทุกจุดเก็บตัวอย่างมีค่าขึ้นและลงเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ค่า pH อยู่ในช่วงที่เป็นกลางมีค่า 6.80-7.02 ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชและสัตว์ในแหล่งน้ำ สำหรับค่า DO อยู่ในช่วง 4.50-6.70 mg/l ซึ่งสูงกว่าค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน[6] แสดงให้เห็นว่าน้ำมีค่าออกซิเจนละลายที่สูง เหมาะสำหรับการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิต ส่วนค่า BOD อยู่ในช่วง 1.65-2.16 mg/l โดยจุดที่ 2 มีค่าที่เกินเกณฑ์มาตรฐานเล็กน้อย แต่พืชและสัตว์ก็สามารถเจริญเติบโตในลำน้ำได้

Table 1 Physical and chemical quality of water samples

Sampling sites	Temperature (°C)	pH	DO (mg/l)	BOD (mg/l)
Site 1	28.10±0.86	6.80±0.03	6.10±0.09	1.85±0.04
Site 2	27.70±0.10	6.81±0.03	6.70±0.02	2.16±0.04
Site 3	28.00±0.06	7.02±0.16	4.50±0.06	1.65±0.05
Thailand Standard	-	-	4	2

3. ปริมาณสารหนูในตะกอนดิน

ปริมาณสารหนูในตะกอนดินจำนวน 3 จุดเก็บตัวอย่าง (Table2) สารหนูบริเวณจุดที่ 2 มีค่าแตกต่างกันอย่างมากระหว่างจุดที่1 และ 3 โดยปริมาณสารหนูบริเวณบอนในจุดที่ 1, 2 และ 3 มีค่า 4.547, 229.964 และ 17.117 mg/kg ตามลำดับ ส่วนปริมาณสารหนูบริเวณตาลปัตรฤาษีมีค่า 4.595, 277.324 และ17.117 mg/kg ตามลำดับ ซึ่งทุกจุดเก็บตัวอย่างตะกอนดินบริเวณพืชทั้งสองชนิดมีค่าปริมาณสารหนูเกินค่ามาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม เมื่อเทียบตามคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25 พ.ศ. 2547[7] กำหนดค่ามาตรฐานสารหนูที่สามารถพบได้ในดินไม่เกิน 3.9 mg/kg โดยผลการศึกษาพบว่าในจุดที่ 2 มีปริมาณสารหนูมากที่สุด เพราะเป็นจุดใกล้กับเหมืองแร่ อาจเนื่องมาจากการพังทลายของดิน และการไหลบ่าของน้ำ เมื่อฝนตกลงมาอาจเกิดการชะล้างหน้าดินที่ถูกขุดออกมาจากกระบวนการทำเหมืองแร่ ซึ่งโดยธรรมชาติแล้วสารหนูเป็นธาตุที่พบอยู่ในดินซึ่งหากมีการขุดหน้าดินออกมาจะทำให้สารหนูเกิดการปนเปื้อนสู่ธรรมชาติมากขึ้นทำให้สารหนูทับถมในตะกอนดิน คาดว่าเกิดการตกตะกอนลงสู่ท้องน้ำและสะสมอยู่ในรูปของตะกอนท้องน้ำสามารถส่งผลกระทบต่อสัตว์และพืช

Table 2 Concentration of As in sediment samples

Sampling sites	As concentration (mg/kg)	
Site 1	4.547±0	4.595±0.318
Site 2	229.964±221.080	277.324±211.81
Site 3	17.117±1.345	17.117±1.345
Thailand Standard	3.9	

4. ปริมาณสารหนูในพรรณไม้น้ำชนิดเด่น

ปริมาณสารหนูในพรรณไม้น้ำชนิดเด่น ได้แก่ บอนและตาลปัตรฤาษี (Table3) ปริมาณสารหนูในบอนบริเวณจุดที่ 1, 2 และ 3 มีค่า 0.1076, 0.4058 และ 0.1547 mg/kg ตามลำดับ ส่วนปริมาณสารหนูในตาลปัตรฤาษี จุดที่ 1, 2 และ 3 มีค่า 0.0810, 0.2896 และ 0.1268 mg/kg ตามลำดับ ซึ่งทุกจุดเก็บตัวอย่างนั้นมีปริมาณสารหนูอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 98 พ.ศ.2529 มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน[8] ได้กำหนดค่ามาตรฐานอาหารที่สารหนูปนเปื้อนได้ไม่เกิน 2 mg/kg เมื่อนำตัวอย่างพรรณไม้น้ำในแต่ละจุดมาเปรียบเทียบกันพบว่าจุดที่ 2 มีปริมาณสารหนูปนเปื้อนในพรรณไม้น้ำมากที่สุด อย่างไรก็ตามจากการสำรวจเบื้องต้นพบว่าทุกส่วนหรือบางส่วนของพรรณไม้น้ำสัมผัสกับน้ำและตะกอนดินตลอดเวลา ผลการศึกษาพบว่าปริมาณสารหนูในพรรณไม้น้ำมีแนวโน้มเช่นเดียวกับสารหนูที่พบในตัวอย่างตะกอนดิน แต่ปริมาณสารหนูในพรรณไม้น้ำมีปริมาณที่น้อยกว่าในตะกอนดิน ถึงแม้ว่าปริมาณสารหนูที่ปนเปื้อนในตะกอนดินจะยังไม่ส่งผลให้การปนเปื้อนสารหนูในพรรณไม้น้ำเกินกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ อย่างไรก็ตามการปนเปื้อนของสารหนูในตะกอนดินก็ยังเป็นสิ่งจำเป็นที่ควรศึกษา เนื่องจากสารหนูมีผลในด้านความเป็นพิษต่อพืช โดยทำให้พืชมีอัตราการเจริญเติบโตและ/หรือมีผลผลิตลดลงได้ (Mattusch et al, 2000)

Table 3 Concentration of As in aquatic plants

Sampling sites	As concentration (mg/kg)	
	Colocasia esculenta	*Limnocharis flava*
Site 1	0.1076±0.0462	0.0810±0.0206
Site 2	0.4058±0.1739	0.2896±0.1088
Site 3	0.1547±0.0398	0.1268±0.0061
Thailand Standard	2	

สรุปผลการศึกษา

คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีบริเวณเหมืองแร่ทองคำเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งผิวดินเป็นไปตามมาตรฐานทุกพารามิเตอร์ ปริมาณสารหนูในตะกอนดินบริเวณเหมืองแร่ทองคำทุกจุดเก็บตัวอย่างพบปริมาณสารหนูที่เกินค่ามาตรฐาน แต่จุดที่พบสูงสุด คือจุดที่ 2 เนื่องจากเป็นจุดที่มีระยะทางใกล้กับเหมืองทองคำมากที่สุด โดยค่าปริมาณสารหนูอยู่ในช่วง 229.964-277.324 mg/kg ส่วนปริมาณสารหนูในบอนและตาลปัตรฤาษีมีค่ามากน้อยแตกต่างกัน ซึ่งจุดที่พบปริมาณสารหนูมากที่สุด คือ จุดที่ 2 แต่มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กระทรวงสาธารณสุขกำหนดมาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน ผลการศึกษาในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่ามีการปนเปื้อนของสารหนูในตะกอนดินที่สูงมาก และส่งผลต่อการสะสมของสารหนูในพรรณไม้น้ำสูงตามไปด้วย เพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบในระบบนิเวศแหล่งน้ำ จึงควรมีการจัดการด้านสิ่งแวดล้อมต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น และโครงการบ่มเพาะนักวิจัยประจำปี 2555 ที่สนับสนุนเงินทุนในการวิจัยครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

1. จารุพงษ์ บุศยศักดิ์. การประเมินศักยภาพทางเศรษฐกิจของแหล่งแร่ทองคำตามแนวการเกิดแร่เลย-เพชรบูรณ์-ปราจีนบุรี [บทคัดย่อ].

วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต,จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. หน้า ง. 2551.

2. ศูนย์วิทยาศาสตร์เพื่อการศึกษา. ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการทำเหมืองแร่. ปี 2551 http://203.172.130.100/nfe_webkm/index.php. ค้นเมื่อวันที่ 30 มีนาคม 2556.
3. กรมควบคุมมลพิษ.รายงานผลการตรวจสอบปริมาณไซยาไนด์ และโลหะหนักในแหล่งน้ำ ผิว ดิน บ่อน้ำใช้ของประชาชน และตะกอนดินบริเวณหมู่บ้านใกล้เคียงเหมืองแร่ทองคำ ของบริษัท ทุ่งคำจำกัด. กรมควบคุมมลพิษ. กรุงเทพฯ. 2552.
4. Jain, C. and Ali, I. Arsenic: Occurrence, toxicity and speciation techniques. Water Research,34(17), 4304 – 4312. (2002).
5. APHA, AWWA and WEA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th edition. United Book Press, Inc.Baltimore, Maryland. (1988).
6. กรมควบคุมมลพิษ. 2537. คู่มือเล่มที่ 2 สำหรับผู้ออกแบบและผู้ผลิตระบบบำบัดน้ำเสีย .http://www.pcd.go.th/info_serv/water_wt.html. ค้นเมื่อวันที่ 21 มีนาคม 2556.
7. คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25. 2547.ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 121 ตอนพิเศษ 119 ง ลงวันที่ 20 ตุลาคม 2547.
8. กระทรวงสาธารณสุข. 2529. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 98 เรื่องมาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน. http://law.longdo.com/law/686/sub45988# ค้นเมื่อวันที่ 1 เมษายน 2556
9. Matschullat, J. Arsenic in the geosphere-A review. Sci. Total Environ. 249: 297 312.(2000).