ปริมาณสารหนูในข้าวเหนียว พันธุ์ กข6 (*Oryza sativa*) บริเวณเหมืองแร่ทองคำ

Arsenic Quantity in Sticky Rice (*Oryza Sativa*) of Gold Mining Area

ลำใย ณีรัตนพันธุ์[1*], สมศักดิ์ อินทมาต[2], Arthone Khammanichanh[3] และ มานพ ศรีอุทธา[4]

[1] ศูนย์วิจัยด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและสารอันตราย มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

[2] นักวิชาการสาธารณสุข ปฏิบัติการ โรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชธาตุพนม

[3] Department of planning and cooperation, Ministry of Science and Technology, LaoPDR

[4] คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์และวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น วิทยาเขตหนองคาย

*Corresponding author, E-mail: hlamya@kku.ac.th

บทคัดย่อ

กิจกรรมการทำเหมืองแร่ทองคำก่อให้เกิดปัญหาหลักที่สำคัญคือการปนเปื้อนของสารหนูในสิ่งแวดล้อม ข้าวเหนียวพันธุ์ กข6 (*Oryza sativa*) เป็นพืชที่ปลูกบริเวณเหมืองแร่ทองคำ ซึ่งคาดว่าจะได้รับผลกระทบจากสารหนูที่เกิดจากการทำกิจกรรมดังกล่าว เพื่อให้ทราบปริมาณสารหนูที่สะสมในดิน ราก ใบและเมล็ดข้าวเหนียวพันธุ์ กข6 ที่ทำการปลูกบริเวณเหมืองแร่ทองคำ ทำการเก็บตัวอย่างข้าวในพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจำนวน 2 จุดเก็บตัวอย่างคือ บริเวณใต้บ่อเก็บกากแร่และบริเวณท้ายเหมืองแร่ทองคำ ทำการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นสารหนูในดิน ราก ใบและเมล็ดข้าวด้วยเทคนิค Inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS)

ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณความเข้มข้นสารหนูบริเวณใต้บ่อเก็บกากแร่ในดิน ราก ใบและเมล็ดข้าวมีค่าเฉลี่ย 420.19±88.45, 356.41±9.60, 25.23±11.79 และ 0.19±0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ค่า Bioaccumulation factors (BAF) มีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.56±0.03 และค่า Translocation factor (TF) มีค่าน้อยกว่า 1 ส่วนบริเวณท้ายเหมืองแร่มีค่า 10.41±3.31, 3.18±1.51, 0.52±0.19 และ 0.34±0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ค่า Bioaccumulation factors (BAF) มีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.84±0.02 และค่า Translocation actor (TF) มีค่าน้อยกว่า 1 ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการสะสมของสารหนูมีค่าสูงที่สุดในดิน รองลงมาคือ ราก ใบและเมล็ด เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณความเข้มข้นสารหนูในดิน รากและใบข้าวระหว่างสองจุดเก็บตัวอย่างด้วยสถิติ t- test พบว่า ค่าเฉลี่ยปริมาณความเข้มข้นสารหนูในดิน ราก และใบข้าวบริเวณใต้บ่อเก็บกักกากแร่มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าบริเวณท้ายเหมืองแร่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.006$, <0.001 และ 0.022ตามลำดับ) ส่วนค่าเฉลี่ยปริมาณความเข้มข้นสารหนูในเมล็ดข้าวบริเวณท้ายเหมืองแร่ทองคำมีค่าสูงกว่าบริเวณใต้บ่อเก็บกากแร่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.001$) ปริมาณความเข้มข้นสารหนูในดินทั้งสองจุดเก็บตัวอย่าง มีค่าเกินมาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรมของกรมควบคุมมลพิษ กำหนดค่ามาตรฐาน 3.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนปริมาณความเข้มข้นสารหนูในเมล็ดข้าวทั้งสองจุดเก็บตัวอย่างมีค่าไม่เกินมาตรฐานสารหนูในอาหารที่กำหนดโดยสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุข กำหนดค่ามาตรฐานไม่เกิน 2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

คำสำคัญ **:** สารหนู, ข้าวเหนียว, *Oryza sativa*, เหมืองแร่ทองคำ

Abstract

Gold mining leads to major arsenic contamination in the environment. Sticky Rice (*Oryza sativa*) is grown in gold mining area which expected to affect by arsenic from the gold mining activity. This study measured arsenic accumulation in soil and plant including roots, leaves and seeds of *O. sativa* grown of a gold mining area, where a field study was conducted with 2 sampling sites along the contaminated areas. The sampling sites were those areas at the contaminated area under the mine's pond and the gold mine area. The arsenic concentrations in the soil and the *O. sativa* samples were analyzed using the inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) technique. The results showing arsenic concentrations at the contaminated area under the mine's pond, in the soil, roots, leaves and seeds of the *O. sativa* samples were 420.19±88.45, 356.41±9.60, 25.23±11.79 and 0.19±0.01 mg/kg, respectively. The bio-accumulation factors (BAF) was the highest at 0.56±0.03 and translocation factor was less than 1. The arsenic concentrations at the contaminated area around the gold mine were 10.41±3.31, 3.18±1.51, 0.52±0.19 and 0.34 mg/kg, respectively. The bioaccumulation factors (BAF) was the highest at 0.84±0.02 and translocation factor was less than 1. The comparative study showed that the accumulation of arsenic in the soil was higher than in the roots, or the leaves, or the seeds of *O. sativa*. The average value of t-test showed that the average value of arsenic concentrations in the soil, roots and leaves of *O. sativa* in the contaminated area under the mine's pond was significantly higher than the average value of arsenic concentrations in the area around the gold mine ($p=0.006$, <0.001 and 0.022, respectively). The average value of arsenic concentrations in the seeds of *O. sativa* samples of the contaminated area around the gold mine was significantly higher than the average value of arsenic concentrations in the contaminated area under mine's pond ($p<0.001$). The arsenic concentration in the soil samples from the two sampling sites are higher than Thailand's soil quality standard level of (3.9 mg/kg), while the arsenic concentration in the seed of *O. sativa* samples is lower than Thailand's food quality standard level (2.0 mg/kg).

Keywords: Arsenic, Sticky Rice, *Oryza sativa*, Gold mining

1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีการปลูกข้าวเพื่อบริโภคและเป็นสินค้าส่งออกที่นำรายได้เข้าสู่ประเทศ ในปี 2557 ประเทศไทยส่งออกข้าวปริมาณ 10,969,334,952 ตัน คิดเป็นมูลค่า 174,853,408,935 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2558) เกษตรกรไทยทำการปลูกข้าวทั่วทุกภาคของประเทศและพันธุ์ข้าวที่ปลูกก็แตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นพื้นที่มีการปลูกข้าวหอมมะลิซึ่งเป็นพันธุ์ข้าวที่มีความสำคัญในการส่งออกขายไปยังต่างประเทศ นอกจากนี้ยังมีการเพาะปลูกข้าวเหนียวหลายสายพันธุ์ เพื่อเก็บไว้บริโภคในครัวเรือน ข้าวเหนียวพันธุ์ กข6 เป็นสายพันธุ์หนึ่งที่ประชาชนนิยมปลูก เนื่องจากเป็นสายพันธุ์ที่ให้ผลผลิตที่ค่อนข้างมีเสถียรภาพในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน ทนแล้งและต้านทานต่อโรคใบจุดสีน้ำตาลและโรคไหม้ ข้าวสุกนึ่งมีลักษณะนุ่ม มีกลิ่นหอมและปราศจากสารปนเปื้อน อย่างไรก็ตาม หากมีการปลูกข้าวในพื้นที่ที่ได้รับมลพิษซึ่งจะเกิดการสะสมของสารมลพิษในดินและแหล่งน้ำ ข้าวที่เจริญเติบโตอยู่บริเวณนั้นสามารถสะสมสารพิษดังกล่าว ส่งผลต่อคุณภาพ ของข้าวเนื่องจากเกิดการสะสมสารพิษในเมล็ดข้าว และมีผลกระทบต่อมนุษย์โดยตรงหรือทางห่วงโซ่อาหาร

จังหวัดเลยเป็นจังหวัดหนึ่งในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่มีการเพาะปลูกข้าวเหนียวพันธุ์ กข6 ไว้บริโภค จากการสำรวจของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์พบว่าจังหวัดเลยมีพื้นที่เพาะปลูกข้าว 395,401 ไร่ (สำนักงานเกษตรอำเภอวังสะพุง, 2558) อำเภอวังสะพุงมีพื้นที่เพาะปลูกข้าว 89,542 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 37.09 นอกจากพื้นที่เกษตรกรรมแล้วอำเภอวังสะพุงยังมีการทำเหมืองแร่ทองคำซึ่งได้เปิดดำเนินการมาตั้งแต่เดือน กันยายน 2549 กิจกรรมการแต่งแร่ทำให้เพิ่มปริมาณสารหนูในสิ่งแวดล้อมมากขึ้น กรมควบคุมมลพิษ (2552) รายงานว่าเมื่อปี พ.ศ. 2550 และ พ.ศ. 2551 มีดินจากเหมืองไหลลงมายังพื้นที่เกษตรกรรมของชาวบ้านจนสร้างความเสียหายให้กับต้นยางที่ปลูกและน้ำรั่วซึมออกมาจากคันดินของบ่อกักเก็บกากแร่ จากเหตุการณ์ดังกล่าวทำให้พบว่ามีสารหนูในปริมาณสูงไหลลงสู่พื้นที่เกษตรกรรม คาดว่าสารหนูน่าจะส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตไม่ว่าจะเป็นพืชและสัตว์ที่อาศัยอยู่บริเวณพื้นที่ดังกล่าว จากเหตุการณ์นี้ส่งผลให้สารหนูสะสมในตะกอนดิน พืชและสัตว์ ทำให้ปริมาณความเข้มข้นสารหนูเกินค่ามาตรฐาน (ณัฏวัจน์ พลเวียง และศรัณย์ เกียรติมาลีสถิตย์, 2557; ศิริลักษณ์ บุญมี และลำใย ณีรัตนพันธุ์, 2557; สุภชาติ เงาะปก, 2556)

การสะสมของสารหนูดังกล่าวในสิ่งแวดล้อมสามารถถ่ายทอดมายังมนุษย์โดยตรงหรือทางห่วงโซ่อาหาร ทำให้มนุษย์และสิ่งมีชีวิตบริเวณเหมืองแร่ทองคำและพื้นที่ใกล้เคียงได้รับสารพิษไปด้วย พื้นที่โดยบริเวณเหมืองแร่ทองคำทำการ

ปลูกข้าวซึ่งเป็นพืชที่ปลูกจำนวนมากในพื้นที่ดังกล่าว เนื่องจากประชาชนรับประทานข้าวเป็นอาหารหลัก และพันธุ์ข้าวที่นิยมปลูกคือข้าวเหนียว กข6 ซึ่งหากมีการสะสมของสารหนูในข้าวจะทำให้ประชาชนที่อาศัยอยู่บริเวณเหมืองแร่ทองคำได้รับสารหนูจากการรับประทานข้าว ถึงแม้หุงสุกแต่สารหนูก็ยังคงปนเปื้อนในข้าวนั้นได้ (Halder et al., 2014) สารหนูทุกรูปแบบเป็นโลหะหนักที่มีพิษต่อระบบร่างกายของสิ่งมีชีวิต เช่น ระบบหายใจ ระบบประสาท ระบบผิวหนัง เป็นต้น (Shi & Liu, 2004) ความเป็นพิษของสารหนูเกิดขึ้นเนื่องจากสารหนูมีลักษณะคล้ายกับฟอสเฟตจึงสามารถเข้าแทนที่ฟอสเฟตในเอนไซม์ที่สำคัญหลายชนิดของร่างกายสิ่งมีชีวิต เช่น การแทนที่ฟอสเฟตในกระบวนการสังเคราะห์ Adenosine-5-phosphate ทำให้กระบวนการหายใจ ระดับเซลล์ถูกขัดขวาง นอกจากนี้สารหนูยังสามารถเข้าทำปฏิกิริยากับ Sulhydryl groups เช่น Glutathione และ Cysteine ทำให้เกิดการยับยั้งปฏิกิริยาทางชีวเคมีที่สำคัญของเซลล์ และเกิดผลเสียกับอวัยวะเหล่านั้นและร่างกายของสิ่งมีชีวิต (An et al., 2004) จากปัญหาและผลกระทบจากการทำเหมืองแร่ทองคำดังกล่าวเป็นสาเหตุทำให้คณะผู้วิจัยมีความสนใจที่จะศึกษาปริมาณความเข้มข้นสารหนูในดินและข้าวซึ่งเป็นพืชที่ปลูกบริเวณเหมืองแร่ทองคำ เนื่องจากเป็นสิ่งแวดล้อมและพืชบริเวณใกล้เคียงที่ได้รับผลกระทบโดยตรงจากการปนเปื้อนของสารหนูที่เกิดจากกิจกรรมการทำเหมืองแร่ทองคำ

การศึกษาในครั้งนี้จะทำให้ทราบถึงปริมาณความเข้มข้นสารหนูในดินและข้าวพันธุ์ กข6 บริเวณเหมืองแร่ทองคำ เพื่อให้ได้ข้อมูลพื้นฐานที่ถูกต้อง ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อการจัดการสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ที่มีความเสี่ยงจากการได้รับสารหนูในปริมาณที่สูง

2. วัตถุประสงค์

1) เพื่อศึกษาปริมาณความเข้มข้นสารหนูที่ปนเปื้อนในดินนาข้าวบริเวณเหมืองแร่ทองคำ อำเภอวังสะพุง จังหวัดเลย

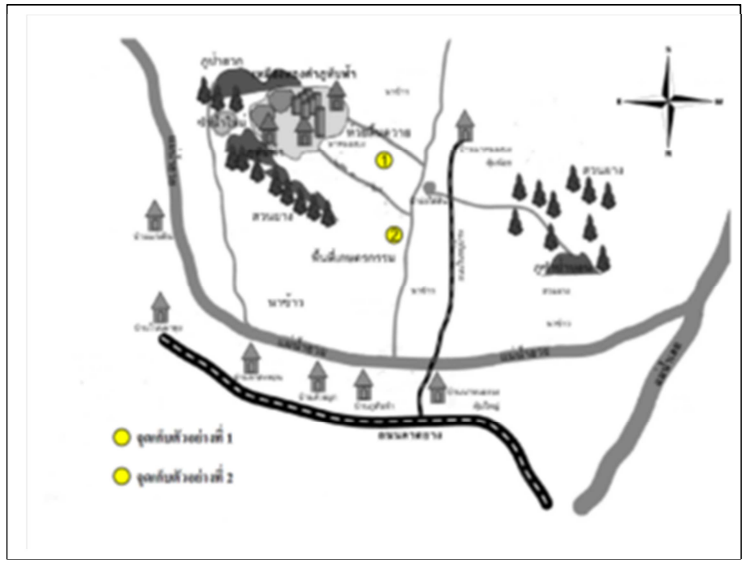
2) เพื่อศึกษาปริมาณความเข้มข้นสารหนูที่สะสมในราก ใบและเมล็ดข้าวเหนียวพันธุ์ กข6 บริเวณเหมืองแร่ทองคำ อำเภอวังสะพุง จังหวัดเลย

3) เพื่อศึกษาการเคลื่อนย้ายสารหนูเข้าสู่ข้าว

3. วิธีการวิจัย

3.1 พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาและจุดเก็บตัวอย่างตั้งอยู่บริเวณเหมืองแร่ทองคำ อำเภอวังสะพุง จังหวัดเลย โดยเก็บตัวอย่างดินในนาข้าวและต้นข้าวจำนวน 2 จุดเก็บตัวอย่างคือ บริเวณใต้บ่อเก็บกากแร่ (จุดเก็บตัวอย่างที่ 1) และบริเวณท้ายเหมืองแร่ทองคำ (จุดเก็บตัวอย่างที่ 2) ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แผนที่เก็บตัวอย่าง ดัดแปลงจากโครงการขับเคลื่อนสิทธิด้านเศรษฐกิจ สังคมและวัฒนธรรม (ม.ป.พ.)

3.2 วิธีการเก็บตัวอย่างต้นข้าวและดิน

3.2.1 การเก็บตัวอย่างต้นข้าวและดิน

เก็บตัวอย่างต้นข้าวและดินจำนวน 2 จุดเก็บตัวอย่าง (ภาพที่ 1) โดยเก็บตัวอย่างต้นข้าวและดินในจุดเดียวกัน เก็บตัวอย่างต้นข้าวจำนวน 3 ต้นในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง และตัวอย่างจำนวน 3 จุดบริเวณต้นข้าว โดยวิธีการเก็บตัวอย่างดินใช้พลั่วมือขุดดินเป็นรูปลิ่มในพื้นที่ที่ทำการศึกษาที่ระดับความลึกประมาณ 15 เซนติเมตร เนื่องจากพบว่าข้าวส่วนมากเป็นพืชที่มีระบบรากตื้น (วิศิษฐ์ โชลิตกุลและคณะ, 2536) หลังจากนั้นเก็บดินโดยใช้พลั่วแซะดินข้างหลุม (ด้านเรียบ) ให้ได้ดินเป็นแผ่นหนาประมาณ 2-3 เซนติเมตรจนถึงก้นหลุม ตัวอย่างดินที่ได้เก็บรวบรวมใส่ในถุงพลาสติกพร้อมเขียนแสดงรายละเอียดของวัน เวลาและแปลงที่เก็บตัวอย่าง จากนั้นจึงเก็บไว้ในกล่องโฟมที่ควบคุมอุณหภูมิ

3.2.2 การเตรียมตัวอย่างดิน

นำตัวอย่างดินที่เก็บจากพื้นที่ศึกษามาตากในที่ร่มจนแห้ง จากนั้นนำดินมาบดให้ละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5 มิลลิเมตร นำตัวอย่างดิน 0.2 กรัม มาเติมด้วยกรดไนตริกเข้มข้น (HNO_3) 7 มิลลิลิตร และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) 1 มิลลิลิตร นำไปย่อยด้วยเครื่อง Micro-

wave digestion ที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที หลังจากย่อยเสร็จปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นปราศจากอิออน (Deionized water) 50 มิลลิลิตร กรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 และนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) (Bailey et al., 2003)

3.2.3 การเตรียมตัวอย่างต้นข้าว

นำตัวอย่างราก ใบ และเมล็ดข้าวเหนียวพันธุ์ กข6 0.2 กรัม เติมด้วยกรดไนตริกเข้มข้น (HNO_3) 7 มิลลิลิตร และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) 1 มิลลิลิตร นำไปย่อยด้วยเครื่อง Microwave digestion ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที หลังจากย่อยเสร็จทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นปราศจากอิออน (Deionized water) 25 มิลลิลิตร กรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 และนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICP-MS (Bailey et al., 2003)

3.2.4 ประสิทธิภาพของกระบวนการเคลื่อนย้ายสารหนูสู่ข้าว

Bioaccumulation Factors (BAF) เป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถของข้าวในการดูดซับสารหนูจากดินบริเวณนาข้าวบริเวณเหมืองแร่ทองคำ จะนำค่าความเข้มข้นของสารหนูในข้าวในส่วน ราก ลำต้น ใบ และเมล็ด ต่ออัตราส่วนของความความเข้มข้นของสารหนูในดินบริเวณนาข้าวบริเวณเหมืองแร่ทองคำ ดังสมการต่อไปนี้ (Yoon, 2006)

$$BAF = \frac{As\ concentration\ in\ Plant\ (mg/Kg)}{As\ concentration\ in\ soil\ (mg/Kg)}$$

Translocation Factor (TF) เป็นตัวบ่งชี้ความสามารถของพืชในการลำเลียงสารหนูจากรากสู่ ใบ และ เมล็ดข้าวซึ่งสามารถคำนวณได้จากค่าความเข้มข้นของสารหนูใน ลำต้นและใบ (above ground) ต่ออัตราส่วนความเข้มข้นของสารหนูในราก (underground) ดังสมการนี้ (Yoon, 2006)

$$BAF = \frac{As\ concentration\ in\ leaf\ and\ seed\ (mg/Kg)}{As\ concentration\ in\ root\ (mg/Kg)}$$

3.3 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์

วิเคราะห์ความแตกต่างของปริมาณความเข้มข้นสารหนูในตัวอย่างจากทั้ง 2 จุดเก็บตัวอย่างด้วยสถิติทดสอบ t-test

4. ผลการศึกษา

4.1 ปริมาณความเข้มข้นของสารหนูที่ปนเปื้อนในดินนาข้าวบริเวณเหมืองแร่ทองคำ

ปริมาณความเข้มข้นสารหนูในดิน ราก ใบ และเมล็ดข้าวพันธุ์ กข6 บริเวณใต้บ่อเก็บกักกากแร่และบริเวณท้ายเหมืองแร่ทองคำ ดังตารางที่ 1 และเปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นในแต่ละตัวอย่างดังภาพที่ 2 โดยปริมาณความเข้มข้นสารหนูบริเวณใต้บ่อเก็บกากแร่ในดิน ราก ใบและเมล็ดข้าว มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 420.19±88.45,

356.41±9.60, 25.23±11.79 และ 0.19±0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนบริเวณท้ายเหมืองแร่ทองคำมีค่า 10.41±3.31, 3.18±1.51, 0.52±0.19 และ 0.34±0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างสองจุดเก็บตัวอย่างด้วยสถิติ t-test พบว่า ค่าเฉลี่ยของปริมาณความเข้มข้นสารหนูในดินในบริเวณใต้บ่อเก็บกักกากแร่มีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยปริมาณความเข้มข้นสารหนูในดินบริเวณท้ายเหมืองแร่ทองคำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Mean Difference 409.77 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม; 95% CI 195.64-623.90, p=0.006) ค่าเฉลี่ยปริมาณความเข้มข้นสารหนูในรากข้าวบริเวณใต้บ่อเก็บกักกากแร่สูงกว่าค่าเฉลี่ยปริมาณความเข้มข้นสารหนูในรากข้าวบริเวณท้ายเหมืองแร่ทองคำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Mean Difference 353.23 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม; 95% CI 337.64-368.81, p<0.001) ค่าเฉลี่ยปริมาณความเข้มข้นสารหนูในใบข้าวบริเวณใต้บ่อเก็บกักกากแร่สูงกว่าค่าเฉลี่ยปริมาณความเข้มข้นสารหนูในใบข้าวบริเวณท้ายเหมืองแร่ทองคำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Mean difference 24.71 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม; 95% CI 5.80-43.61, p=0.02)

อย่างไรก็ตามค่าเฉลี่ยปริมาณความเข้มข้นสารหนูในเมล็ดข้าวบริเวณท้ายเหมืองแร่ทองคำสูงกว่าค่าเฉลี่ยปริมาณความเข้มข้นสารหนูในเมล็ดข้าวบริเวณบ่อเก็บกักกากแร่ทองคำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Mean Difference 0.143 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม; 95% CI 0.12-0.16, p< 0.001)

ตารางที่ 1

ปริมาณความเข้มข้นสารหนูในดิน ราก ใบและเมล็ดข้าวพันธุ์ กข6 บริเวณใต้บ่อเก็บกักกากแร่และบริเวณท้ายเหมืองแร่ทองคำ

ชนิดตัวอย่าง	**ปริมาณความเข้มข้นสารหนูบริเวณใต้บ่อเก็บกากแร่ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)**	**ปริมาณความเข้มข้นสารหนูบริเวณท้ายเหมืองทองคำ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)**	**P-Value**
	ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
ดิน	420.19±88.45	10.41±3.31	0.006
รากข้าว	356.41±9.60	3.18±1.51	<0.001
ใบข้าว	25.23±11.79	0.52±0.19	0.022
เมล็ดข้าว	0.19±0.01	0.34±0.01	<0.001

4.2 ประสิทธิภาพการเคลื่อนที่ของสารหนูสู่ข้าว

การศึกษาประสิทธิภาพของกระบวนการเคลื่อนย้ายสารหนูเข้าสู่ข้าวโดยพิจารณาจากค่า BAF และ TF ดังตารางที่ 2 พบว่าค่า BAF ในข้าวบริเวณบริเวณใต้บ่อเก็บกากแร่ ใน ราก ใบ และเมล็ด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.84±0.02, 0.06±0.02 และ 0.00039±0.00001 ตามลำดับ ส่วนค่า TF ในใบและเมล็ดมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.07±0.03 และ 0.00047±0.00006 ตามลำดับ ส่วนค่า BAF ในข้าวบริเวณบริเวณท้ายเหมืองทองคำใน ราก ใบ และเมล็ด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.34±0.22, 0.56±0.03 และ 0.03±0.009 ตามลำดับ ส่วนส่วนค่า TF ในใบและเมล็ดมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.16 ±0.04 และ 0.12±0.05

ตารางที่ 2

ค่าเฉลี่ย Bioaccumulation Factors (BAF) และ Translocation Factor (TF) ของข้าว กข6 ที่ปนเปื้อนสารหนูบริเวณเหมืองแร่ทองคำ

บริเวณใต้บ่อเก็บกากแร่				
BAF			TF	
รากข้าว	ใบข้าว	เมล็ดข้าว	ใบข้าว	เมล็ดข้าว
0.84±0.02	0.06±0.02	0.00039±0.00001	0.07±0.03	0.00047±0.00006
บริเวณท้ายเหมืองทองคำ				
BAF			TF	
รากข้าว	ใบข้าว	เมล็ดข้าว	ใบข้าว	เมล็ดข้าว
0.34±0.22	0.56±0.03	0.03±0.009	0.16±0.04	0.12±0.05

5. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาปริมาณสารหนูที่สะสมในดินนาข้าวบริเวณเหมืองแร่ทองคำพบว่าปริมาณความเข้มข้นสารหนูในดินนาข้าวบริเวณใต้บ่อเก็บกากแร่มีค่าเฉลี่ยสูงสุด 420 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในขณะที่บริเวณท้ายเหมืองแร่ทองคำมีค่าเฉลี่ยสูงสุด 10.42 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แสดงให้เห็นว่าปริมาณความเข้มข้นสารหนูทั้งสองจุดเก็บตัวอย่างแตกต่างกันมาก และเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25 (พ.ศ. 2547) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่องกำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน

พบว่า ตัวอย่างดินที่ศึกษามีปริมาณความเข้มข้นสารหนูเกินค่ามาตรฐาน (3.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ทั้งสองจุดเก็บตัวอย่าง โดยดินบริเวณใกล้เหมืองแร่ทองคำหรือบริเวณใกล้บ่อเก็บกากแร่มีปริมาณความเข้มข้นสารหนูแตกต่างจากบริเวณท้ายเหมืองแร่ทองคำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P=0.006) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ ณัฏวัจน์ พลเวียง และศรัณย์ เกียรติมาลีสถิตย์ (2557) พบว่าตะกอนดินในห้วยเหล็กซึ่งเป็นห้วยที่อยู่ใกล้เหมืองแร่ทองคำ ภูทับฟ้า บริเวณต้นน้ำมีค่าเฉลี่ย 377.57 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และบริเวณท้ายน้ำมีค่าเฉลี่ย 25.72 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จากผลการศึกษาครั้งนี้พบว่าปริมาณความเข้มข้นสารหนูจะมีปริมาณความเข้มข้นสูงในราก ใบ และเมล็ดข้าว ตามลำดับ ทั้งบริเวณใกล้บ่อเก็บกากและบริเวณท้ายเหมืองแร่ทองคำสอดคล้องกับการศึกษาของ Aberdin et al. (2002) พบปริมาณการได้รับสารหนูจากดินจะลดลงจาก ราก ลำต้น ใบ และเมล็ด ตามลำดับ รวมถึงการศึกษาของ Das et al. (2004) พบปริมาณความเข้มข้นสารหนูในรากข้าว 2.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนลำต้นและใบพบ 0.73 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และในเมล็ดข้าวอยู่ที่ 0.14 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม นอกจากนี้ยังมีรายงานการสะสมโลหะหนักชนิดอื่น เช่นตะกั่วในสภาพการทดลองพบว่า ตะกั่วมีการสะสมปริมาณมากในราก ลำต้น ใบ เมล็ดส่วนของรำ และแกลบ ตามลำดับ แต่ไม่มีการสะสมในข้าวขาว (Panichpat & Srinives, 2009) บริเวณที่มีการสะสมตะกั่วและสารหนูมากที่สุดคือ แวคคิวโอล (Vacuole) เอนโดพลาสมิก เรคติคิวลัม (Endoplasmic reticulum) และไซโต พลาสซึม (Cytoplasm) (Moore et al., 2011)

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการสะสมของสารหนูในพืชชนิดอื่นด้วย และผลการศึกษาที่ผ่านมาสอดคล้องกับการสะสมสารหนูในข้าวคือมีการสะสมที่บริเวณรากมากกว่าใบ (Samal et al., 2013) เมื่อนำผลการศึกษาปริมาณความเข้มข้นสารหนูในตัวอย่างเมล็ดข้าวพันธุ์ กข6 บริเวณเหมืองแร่ทองคำมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน (ฉบับที่ 2) ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 273) พ.ศ. 2546 พบว่า ตัวอย่างข้าวเหนียวพันธุ์ กข6 บริเวณใต้บ่อเก็บกากแร่และบริเวณท้ายเหมืองแร่ทองคำมีค่าไม่เกินมาตรฐาน (2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) โดยมีค่าเฉลี่ย 0.27 และ 0.34 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ปริมาณความเข้มข้นสารหนูในเมล็ดข้าวต่ำกว่าค่ามาตรฐานอาจเนื่องมาจากการลำเลียงสารหนูและการสะสมที่ต่างกันโดยสารหนูอนินทรีย์ (Arsenite) ส่วนใหญ่จะลำเลียงผ่านระบบท่ออาหาร(Hughes, 2002) ส่วนสารหนูอินทรีย์ (Dimethyllarsenic acid: DMA) จะลำเลียงผ่านทั้งท่อน้ำและท่ออาหาร (Zhao et al., 2012) การลำเลียงที่ต่างกันมีผลต่อการสะสมสารหนูในเมล็ดด้วย โดยสารหนู อนินทรีย์จะสะสมอยู่ในเมล็ดข้าว (Caryopsis) ส่วนสารหนูอินทรีย์พบมากในแกลบและรำข้าว ซึ่งรำข้าวประกอบด้วย Peripercarp, Seed coat, Nucellus และ

Aleurone Layer (Carey et al., 2010) สอดคล้องกับการศึกษาของ Meharg et al. (2009) ศึกษาปริมาณความเข้มข้นสารหนูในข้าวกล้อง 45 ตัวอย่าง ข้าวขาว 39 ตัวอย่าง โดยเก็บตัวอย่างจากแปลงทดลอง นาข้าว และซุปเปอร์มาเกต พบว่าข้าวกล้องมีปริมาณความเข้มข้นสารหนูอนินทรีย์สูงกว่าข้าวขาว และปริมาณของ DMA จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นสารหนู นอกจากสารหนูแล้วตะกั่วก็มีลักษณะการสะสมที่เหมือนกัน คือ ไม่พบในข้าวขัดสี แต่จะพบในรำและแกลบ (Panichpat & Srinives, 2009) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นสารหนูในเมล็ดข้าวของการศึกษาครั้งนี้กับข้อมูลการศึกษาปริมาณความเข้มข้นสารหนูในข้าวของแต่ละประเทศดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3

ปริมาณความเข้มข้นสารหนูในข้าวจากต่างประเทศ

ประเทศ	ชนิดข้าว	จำนวนตัวอย่าง	ปริมาณสารหนูทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	สารหนูอนินทรีย์ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	สารหนูอินทรีย์ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
บังกลาเทศ	ข้าวขาว	15	0.1	0.07	0.083
จีน	ข้าวขาว	21	0.16	0.123	0.034
กาน่า	ข้าวขาว	7	0.002	0.021	0
อินเดีย	ข้าวขาว	13	0.005	0.003	10
	ข้าวกล้อง	6	0.105	0.0071	0.0009
อิตาลี	ข้าวขาว	6	0.211	0.130	0.0057
	ข้าวกล้อง	5	0.187	0.101	0.0025
ไทย	ข้าวขาว	6	0.211	0.130	0.0057
อเมริกา	ข้าวขาว	13	0.220	0.0081	0.10
	ข้าวกล้อง	3	0.0029	0.120	0.11
การศึกษาครั้งนี้	ข้าวขาว	6	0.27	-	-

ที่มา : Meharg et al. (2009), Raab et al. (2008), Adomoko et al. (2011)

จากตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่าข้าวจากประเทศสหรัฐอเมริกามีปริมาณความเข้มข้นสารหนูทั้งหมดสูงกว่าข้าวจากประเทศอื่น (0.22 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ในขณะที่ข้าวจากประเทศไทยพบปริมาณความเข้มข้นสารหนู 0.211 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนข้าวจากประเทศกาน่าพบปริมาณความเข้มข้นสารหนูน้อยที่สุด 0.002 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาครั้งนี้พบว่าปริมาณสารหนูในข้าวเหนียวพันธุ์ กข6 มีปริมาณความเข้มข้นสารหนูสูงกว่าการศึกษาที่ผ่านมา เนื่องจากเป็นบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากกิจกรรมการทำเหมืองแร่

ทองคำ ทำให้สารหนูแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อมมากขึ้น เกิดการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม และสะสมในสิ่งมีชีวิตตามห่วงโซ่อาหาร อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าปริมาณความเข้มข้นสารหนูในข้าวเหนียวพันธุ์ กข6 จะไม่เกินค่ามาตรฐานกำหนด แต่ผลจากการศึกษาพบว่ามีการปนเปื้อนของสารหนูในข้าวซึ่งเป็นอาหารหลักของประชาชนในพื้นที่ศึกษา

ค่า BAF จะบ่งบอกถึงความสามารถของพืชชนิดนั้นในการเคลื่อนย้ายสารเข้ามาสะสมในเนื้อเยื่อได้มากน้อยขนาดไหน ส่วนค่า TF เป็นค่าบ่งชี้ความสามารถของพืชในการลำเลียงสารจากรากสู่ลำต้น ใบ และผล โดยพืชที่มีประสิทธิภาพดีจะต้องมีค่า BAF และ TF มากกว่า 1 (Noor, 2013) การศึกษาครั้งนี้พบว่าค่า BAF และ TF ในข้าวมีค่าน้อยกว่า 1 ทั้งสองจุด สอดคล้องกับการศึกษาของ Liu et al. (2007) ศึกษาการดูดซึมโลหะหนักในข้าว (*O. sativa* L.) ที่ปลูกในพื้นที่เขตเกษตรกรรมใกล้เมือง Zhengzhou ของจีน พบว่าความเข้มข้นของตะกั่วในฟางข้าวต่ออัตราส่วนความเข้มข้นของตะกั่วในเมล็ดข้าว มีค่า TF ต่ำกว่า 1 สอดคล้องกับผลการศึกษาของ สายชล สุขญาณกิจ และธนวรรณ พาณิชพัฒน์, (2556) พบว่าประสิทธิภาพของการเคลื่อนย้ายตะกั่วจากดินเข้าสู่ข้าวฟ่างที่ระยะเก็บเกี่ยว 35, 70 และ 105 วัน ค่า BAF และ TF ต่ำกว่า 1 เช่นเดียวกัน

แม้ว่าจะพบความเข้มข้นของสารหนูในข้าวปริมาณน้อยแต่การรับประทานข้าวเป็นอาหารหลักทุกวันอย่างต่อเนื่องก็อาจจะก่อให้เกิดการสะสมสารหนูในร่างกายของประชาชนเพิ่มมากขึ้นและส่งผลต่อสุขภาพอนามัยในที่สุด ดังนั้นจึงควรให้ความสำคัญอย่างเร่งด่วนต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนที่บริโภคข้าวที่ปลูกบริเวณเหมืองแร่ทองคำ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและสารอันตราย มหาวิทยาลัยขอนแก่นในการสนับสนุนเงินทุนการศึกษาวิจัย

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. (2552). *รายงานผลการตรวจสอบปริมาณไซยาไนด์และโลหะหนักในแหล่งน้ำผิวดิน บ่อน้ำใช้ของประชาชนและตะกอนดินบริเวณหมู่บ้านใกล้เคียงเหมืองแร่ทองคำของบริษัททุ่งทองคำจำกัด.* กรมควบคุมมลพิษ กรุงเทพมหานคร.

โครงการสิทธิทางเศรษฐกิจสังคมและวัฒนธรรม. (2553). *นาหนองบง: สิทธิทางเศรษฐกิจสังคมและวัฒนธรรมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ประเทศไทย.* (มปพ.).

ณัฏวัจน์ พลเวียง และศรัณย์ เกียรติมาลีสถิตย์. (2557). ปริมาณสารหนูในตะกอนดินและหอยฝาเดียว ในห้วยเหล็ก อำเภอวังสะพุง จังหวัดเลย. *การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาครั้งที่ 15;*

28 มีนาคม 2557; ขอนแก่น: บัณฑิต วิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 770-775.

วิศิษฐ์ โชลิตกุล, ประไพ ชัยโรจน์ และจักรพงษ์ เจิมศิริ. (2536). *การเก็บตัวอย่างดินเพื่อการวิเคราะห์ทางเคมี*. กรมวิชาการเกษตร กองปฐพีวิทยา. กรุงเทพฯ.

สายชล สุขญาณกิจ และ ธนวรรณ พาณิชพัฒน์. (2556). เปรียบเทียบการเจริญเติบโตและการสะสมของทานตะวันและข้าวฟ่างในดินที่ปนเปื้อนตะกั่ว.*วารสารวิทยาศาสตร์ มข*, *41*(4), 996-1007.

สุภชาติ เงาะปก. (2556). *การสะสมเชิงชีวภาพของสารหนูในสัตว์น้ำจืดจากเมืองเลย.* วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น

สำนักงานเกษตรอำเภอวังสะพุง. (2558). *ระบบฐานข้อมูลเกษตรกร.* ค้นเมื่อ 1 มีนาคม 2558, จาก http://wangsaphung.loei.doae .go.th/

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2558). *สถิติการส่งออกข้าว: ปริมาณและมูลค่าการส่งออกรายเดือน*. ค้นเมื่อ 14 มีนาคม 2558, จาก http://www.oae.go.th/oae_report/export_import/export_result.php

ศิริลักษณ์ บุญมี และลำใย ณีรัตนพันธุ์. (2557). คุณภาพน้ำและการปนเปื้อนสารหนูในตะกอนดินและพรรณไม้น้ำบริเวณเหมืองแร่ทองคำ. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม*, 10, 429-435.

Aberdin, M. D., Cresser, M. C., Meharg, A. A. & Feldmann, J. (2002). Asenic accumulation and metabolism in rice (*Oryza sativa*). *Environmental Science and Technology, 36*, 962-968.

Adomako, E. E., Williams, P. N., Deacon, C. & Meharg, A. A. (2011). Inorganic arsenic and trace element intake from locally produced versus imported rice. *Environmental Pollution*, *159*, 2435-2442.

An, Y., Gao, Z., Yang, S., Liang, J., Feng, Y. & Kato, K. (2004). Immunohistochemical analysis of oxidative DNA damage in arsenic-related human skin sample from arsenic-contaminated area of Chaina. *Cancer Letters, 214*(1), 11-18.

Bailey, R. M., Stokes, S. & Bray, H. (2003). *Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICPMS) for Dose Rate Determination: some Guidelines for Sample Preparation and Analysis.* Oxford, UK: Oxford Luminescence Research Group, School of Geography

and the Environment, University of Oxford.

Carey, A. M., Scheckel, K. G., Lombi, E., Newville, M., Choi, Y., Norton, G. J., et al. (2010). Grain unloading of arsenic species in rice. *Plant Physiology, 152*, 309-319.

Das, H. K., Mitra A. K., Sengupta, P. K., Hossain, A., Islam, F. & Rabbani, G. H. (2004). Arsenic concentration in rice, vegetables, and fish in Bangladesh: a preliminary study. *Environmental International, 30*, 383-387.

Halder, D., Biswas, A., Slejkovec, Z., Chatterjee, D., Nriagu, J., Jack, G. & Bhattacharya, P. (2014). Arsenic species in raw and cooked rice :Implications for human health in rural Bengal. *Science of the Total Environment, 497*, 200-208.

Hughes, M. F. (2002). Arsenic toxicity and potential mechanism of action. *Toxicology Letters, 137*(1), 1-16.

Liu, W. X., Shen, L. F., Liu, J. W., Wang, Y. W. & Li, S. R. (2007). Uptake of toxic heavy metals by rice (*Oryza sativa* L.) cultivated in the agricultural soil near Zhengzhou city, People's Republic of China. *Bulletin of Environmental Contamination* and *Toxicology*, *79*, 209-221.

Meharg, A. A., Williams, P. N., Adamako, E., Lawgali, Y. Y., Deacon, C., Villada, A., et al. (2009). Geographical variation in total and inorganic arsenic content of polished (white) rice. *Environmental Science and Technology*, *43*, 1612-1617.

Moore, K. L., Schroder, M., Wu, Z. C., Martin, B. G. H., Hawes, C. R., McGrath, S. P., et al. (2011). Nano SIMS analysis reveals contrasting pattern of arsenic and silicon localization in rice roots. *Plant Physiology, 156,* 913-924.

Noor, U. A., Hussain, A., Alamzeb, S. & Begum, S. (2013). Accumulation of heavy metals in edible parts of vegetables irrigated with waste water and their daily intake to adults and children, District Mardan, Pakistan. *Journal of Food Chemistry*, *136*, 1515-1523.

Panich-pat, T. & Srinives, P. (2009). Partitioning of lead accumulation in rice plants. *Thai Journal of Agricultural Science*, *42*(1), 35-40.

Raab, A., Baskaran, C., Feldmann, J. & Meharg, A. A. (2008). Cooking rice in a high water to rice ratio reduces inorganic arsenic content. *Journal of Environmental Monitoring*, *11*, 41-44.

Samal, A. C., Piyal, B., Satabdi, B., Jayjit, M. & Santra S. C. (2013). Distribution of arsenic in the estuarine ecosystem of Nayachar Island, West Begal, India. *Earth Science India, 6*, 70-76.

Shi, H., Shi, X. & Liu, K. J. (2004). Oxidative mechanism of arsenic toxicity and carcinogenesis. *Molecular and Cellular Biochemistry, 255*, 67-78.

Yoon, J., Xinde, C., Qixing Z. & Lena Q. M. (2006). Accumulation of Pb, Cu and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site. *Journal Science of the total environment*, *368*, 456-464.

Zhao, F. J., Stroud, J. L., Khan, M. A. & McGrath, S. P. (2012). Arsenic translocation in rice investigated using radioactive ^{73}As tracer. *Plant soil, 350*, 413-420.