

การตรึงโลหะหนักในดินที่ปนเปื้อนบริเวณรอบเหมืองสังกะสีด้วยดินตะกอน จากโรงผลิตน้ำประปาเพื่อใช้ในการปลูกข้าว

Stabilization of Heavy Metals in Contaminated Soil around Zinc Mining Area by Sediment from Water Supply Plant for Cultivation of Rice

อนุพงศ์ คุ่มเวช¹ คณิตา ตั้งคนานุรักษ์¹ นิพนธ์ ตั้งคนานุรักษ์¹ และวัชรพงษ์ วาระรัมย์¹
Anupong Kumwet¹, Kanita Tangkananuruk¹, Nipon Tangkananuruk¹ and Watcharapong Wararam¹

บทคัดย่อ

การศึกษาประสิทธิภาพของดินตะกอนจากโรงผลิตน้ำประปาเพื่อใช้ตรึงโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดิน และลดการชะละลายของโลหะหนักออกจากดิน ทำการศึกษาโดยเก็บตัวอย่างดินบน (0-15 เซนติเมตร) บริเวณเหมืองสังกะสี ตำบลแม่ตาว อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ผลการวิเคราะห์โลหะหนักที่ปนเปื้อนในดินด้วยวิธี US-EPA 3051 และเครื่อง AAS พบว่าดินมีความเข้มข้นของแคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี และแมงกานีส เท่ากับ 37.60, 770.00, 135.51 และ 500.80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนักของดินตะกอนโดยการทดลองแบบแบตช์พบว่าดินตะกอน 2 กรัม สามารถดูดซับแคดเมียม และสังกะสีที่มีความเข้มข้น 10-40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ได้มากกว่าร้อยละ 95.00 และแมงกานีสร้อยละ 59.72 อัตราส่วนของดินตะกอนต่อดินปนเปื้อนโลหะหนักที่อัตรา 1:1 มีประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักได้ดีที่สุด ชุดการทดลองปลูกข้าวโดยการสุ่มตัวอย่างสมบูรณ์มี 7 ชุดการทดลอง ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ผลการทดลองพบว่าการใช้ดินปนเปื้อนโลหะหนัก 5 กิโลกรัม ต่อดินตะกอน 5 กิโลกรัม ปุ๋ยเคมี 20 กิโลกรัม และมูลสุกร 70 กิโลกรัม ให้ผลผลิตข้าวสูงสุด (889.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และน้ำหนักเมล็ดข้าว 38.60 กรัมต่อ 1,000 เมล็ด ไม่พบการปนเปื้อนโลหะหนักในเมล็ดข้าว นอกจากนี้ปริมาณโลหะหนักในน้ำชะของชุดการทดลองที่มีดินตะกอนมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐาน

คำสำคัญ: การตรึง โลหะหนัก ดินตะกอนจากโรงผลิตน้ำประปา

Abstract

A study on effectiveness of sediment from water supply plant for fixing heavy metals in contaminated soil and leachate reduction was conducted. The top soil samples (0-15 cm) were collected from zinc mining site at Mae Tao Sub-district, Mae Sot district, Tak province. Analysis results of heavy metals which contaminated in soil by US-EPA 3051 method and atomic absorption spectroscopy revealed that concentration of the soil concentration of Cd Pb Zn and Mn were 37.60, 135.51, 770.00 and 500.80 mg kg⁻¹ respectively. The heavy metals removal efficacy of sediment was investigated by batch experiment. It was found that, sediment 2 g can remove Cd and Zn for 10 to 40 mg/l over than 95% and Mn 59.72%. The ratios between sediment and contaminated soil at 1:1 gave the highest removal efficacy. For pot treatment, which were designed in completely randomized design (CRD) with 7 treatments and 3 replications. The results shown that the pot with ratios of soil 5 kg : sediment 5 kg : fertilizer 20 kg and pig manure 70 kg gave the highest rice yield (889.00 kg/ha) and the weight of rice grain was 38.60 g per 1000 seed. The rice grain was uncontaminated by heavy metals. Furthermore, the heavy metals in leachate from all pot treatments with sediment were lower than standard value.

Keywords: stabilization, heavy metals, sediment from water supply plant

คำนำ

ปัญหาการปนเปื้อนของโลหะหนักในดิน เป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่สำคัญปัญหาหนึ่งของประเทศไทย ส่วนใหญ่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการทำเหมืองแร่ ทำให้เกิดการปนเปื้อนของโลหะหนักในดิน พืชผัก สัตว์น้ำ และแหล่งน้ำในบริเวณข้างเคียง เช่น ในพื้นที่เขาบ่องาม อำเภอดงหลวง จังหวัดกาญจนบุรี ที่มีการปนเปื้อนของตะกั่ว ส่งผลให้ประชากรในพื้นที่ใกล้เคียงได้รับผลจากพิษของสารตะกั่วต่อระบบประสาท และทำให้มีผลต่อระดับสติปัญญาของมนุษย์ (Pusapukdepob *et al.*, 2007) พื้นที่อำเภอมะสอย จังหวัดตาก พบปัญหาการปนเปื้อนแคดเมียม และสังกะสีที่รุนแรง ดินที่ปลูกข้าวในบริเวณใกล้เคียงแรมมีการสะสมของธาตุสังกะสี (100 ถึง 8,036 มก./กก.) และแคดเมียม (0.5 ถึง 284 มก./กก.) และยังพบว่า มีการสะสมของแคดเมียมในเมล็ดข้าว 0.05 ถึง 7.7 มก./กก. ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน (ศิริลักษณ์, 2548) แสดงให้เห็นว่าการปนเปื้อนของโลหะหนักในดินส่งผลกระทบต่อคุณภาพอาหาร สุขภาพของมนุษย์ และสะสมอยู่ในสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้การปนเปื้อนของโลหะหนักในบริเวณพื้นที่เกษตรกรรม ยังส่งผลกระทบต่อผลผลิตทั้งปริมาณ และคุณภาพของผลผลิตทางการเกษตรอีกด้วย ดังนั้นปัญหาดังกล่าวจึงจำเป็นต้องเข้าไปถึงจัดการ เพื่อให้เกษตรกรสามารถใช้พื้นที่ทำการเกษตรได้โดยโลหะหนักไม่ถูกชะละลายกระจายออกสู่สิ่งแวดล้อม และป้องกันการเกิดผลกระทบต่อคุณภาพของผลผลิตทางการเกษตร ในการศึกษาครั้งนี้จึงได้นำดินตะกอนจากโรงผลิตน้ำประปามาใช้เพื่อการตรึงโลหะหนักในดิน บริเวณเหมืองสังกะสี ตำบลแม่ตาว อำเภอมะสอย จังหวัดตาก เนื่องจากดินตะกอนน้ำประปามี SiO_2 และ Al_2O_3 เป็นองค์ประกอบหลัก มีความเป็นรพุนมากสามารถดูดซับโลหะหนักได้ดี และดินตะกอนน้ำประปายังช่วยปรับปรุงคุณภาพดินให้เหมาะสมต่อการปลูกพืช นอกจากนี้งานวิจัยยังได้มีการนำมูลสุกรซึ่งเป็นของเสียจากภาคเกษตรกรรมมาใช้เพิ่มปริมาณธาตุอาหารในดินให้มีความเหมาะสมต่อการเพาะปลูกข้าว และลดอัตราการใช้ปุ๋ยเคมี ซึ่งจะเป็นแนวทางในการจัดการปัญหาสิ่งแวดล้อมในภาคเกษตรกรรมได้

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การเก็บตัวอย่างและการเตรียมตัวอย่างดินจากพื้นที่ศึกษา

เก็บตัวอย่างดินจากแปลงนาของเกษตรกร ตำบลแม่ตาว อำเภอมะสอย จังหวัดตาก โดยเก็บดินที่ระดับความลึก 15 เซนติเมตร ทั้งหมด 15 บริเวณ นำมาคลุกเคล้าให้ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ผึ่งในที่ร่มจนดินแห้ง บดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.2 มิลลิเมตร เก็บตัวอย่างที่ได้ในถุงพลาสติก

2. การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน

นำตัวอย่างดินที่เตรียมไว้ในข้อ 1 มาวิเคราะห์ สภาพความเป็นกรด-เบสของดิน (pH) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ปริมาณโลหะหนักในดิน ตามวิธีมาตรฐาน US. EPA method 3051 โลหะหนักที่ทำการศึกษได้แก่ แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี และแมงกานีส โดยใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (OM) โดยวิธี Walkley and Black ปริมาณธาตุอาหารทั้งหมด ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน (total nitrogen) โดยวิธี Kjeldahl method ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน (available phosphorus) และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable potassium) โดยวิธีการสกัดทำตามวิธีการวิเคราะห์ดินทางเคมี (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553)

3. การศึกษาความสามารถในการดูดซับโลหะหนักด้วยดินตะกอนจากโรงผลิตน้ำประปา

นำดินตะกอนจากโรงผลิตน้ำประปามหาสวัสดิ์ การประปานครหลวง บางกรวย นนทบุรี ปริมาณ 1, 2 และ 3 กรัม เขย่ากับสารละลายมาตรฐานโลหะหนักแคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี และแมงกานีส ที่ระดับความเข้มข้นของสารละลาย 10 20 30 และ 40 mg/l ด้วยเครื่องเขย่า (shaker) ที่ระดับความแรง 250 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง กรอง ปิเปตสารละลาย 30 ml ใส่ลงในเวสเซล (vessel) เติมน้ำกลั่นในปริมาตร 68%w/w 3.3 ml นำไปย่อยด้วยเครื่อง Microwave Digestion และไปวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่อง AAS

4. การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของดินตะกอนน้ำประปาในการตรึงโลหะหนักเพื่อใช้ในการปลูกข้าว

นำดินที่ปนเปื้อนโลหะหนักผสมกับดินตะกอนน้ำประปาในอัตรา 1:1, 1:2 และ 2:1 ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ซ้ำน้ำเป็นเวลา 3 วัน ทำการเก็บตัวอย่างน้ำชะโลหะหนัก และตัวอย่างดินทำการวิเคราะห์โลหะหนักด้วยเครื่อง AAS

5. วางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองโดยทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) ประกอบด้วย ปัจจัยที่ศึกษา 3 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยที่ 1 ดินตะกอนน้ำประปาต่อการตรึงโลหะหนัก โดยศึกษาอัตราส่วนระหว่างดินตะกอนน้ำประปาต่อดินปนเปื้อนโลหะหนัก ในอัตราส่วน 1:1, 1:2 และ 2:1 ปัจจัยที่ 2 อัตราส่วนของปุ๋ยเคมีต่อดินผสมปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) กับปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-16 ต่อดิน 1 ไร่ ปริมาณ 10, 20 และ 30 กิโลกรัมต่อไร่ โดยทุกอัตราส่วนของปุ๋ยเคมีต่อดินประกอบด้วยปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) และปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-16 เท่ากับ 1:1 โดยน้ำหนัก และปัจจัยที่ 3 ปริมาณมูลสุกร โดยใช้ในอัตรา 70 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งเป็นปริมาณที่มีไนโตรเจนใกล้เคียงกับปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยยูเรีย (กรมพัฒนาที่ดิน, 2554) ออกแบบชุดทดลอง 7 แบบ ดังแสดงใน Table 1 โดยแต่ละชุดทดลองทำ 3 ซ้ำ

Table 1 Treatment and value sediment fertilizer and pig manure.

Treatments	Soil (kg)	Sediment (kg)	Chemical Fertilizer (CF) (value)	Pig manure (PM) (kg/ha)
1 (Control)	10	-	-	-
2	5	5	-	-
3	10	-	CF 1 (30 kg)	-
4	5	5	CF 3 (10 kg)	-
5	5	5	CF 1 (30 kg)	70
6	5	5	CF 2 (20 kg)	70
7	5	5	CF 3 (10 kg)	70

6. การเตรียมกระถางทดลอง

การเตรียมชุดทดลอง ใช้กระถางทดลอง ขนาด 12 นิ้ว จำนวน 21 ใบ นำดินจากพื้นที่แม่ตาวมาบดเพื่อทำให้ละเอียดและผสมเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วชั่งดินใส่แต่ละกระถางทดลองตามรายละเอียดที่เตรียมไว้ หลังจากนั้นเติมน้ำทุกกระถางทดลองเพื่อให้ดินอิ่มตัวด้วยน้ำจนดินแต่ละกระถางทดลองเป็นโคลน และหลังจากนั้นทิ้งไว้พร้อมกับปล่อยน้ำซังไว้ 5-10 เซนติเมตร เพื่อรักษาสภาพให้เหมาะสมแก่การเพาะปลูกข้าว

7. การเพาะปลูกข้าว

ปลูกข้าวพันธุ์ กข. 47 โดยนำเมล็ดข้าวพันธุ์ กข. 47 แช่น้ำ 24 ชั่วโมงและคั่วด้วยกระสอบอย่างมิดชิดเพื่อรักษาความชื้นเป็นเวลา 36 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดทำการเปิดกระสอบและตรวจดูว่าเมล็ดข้าวมีการงอกหรือยัง เมื่อเมล็ดข้าวมีการงอกแล้ว นำเมล็ดข้าวไปเพาะกล้าในกระบะทดลอง หลังจากนั้น 14 วัน นำกล้ามาดำในกระถางทดลอง โดยดำกล้าในกระถางทดลอง 5 กอต่อกระถางทดลอง

8. การใส่ปุ๋ยและดูแลรักษา

ทำการใส่ปุ๋ยครั้งที่ 1 ในระยะข้าวแตกกอ หลังจากปลูกข้าว 36 วัน และครั้งที่ 2 ใส่ในระยะที่ข้าวกำลังออกดอก หลังจากปลูกข้าว 60 วัน ผสมดินตะกอนน้ำประปาและมูลสุกรร่วมกับปุ๋ยเคมีตามอัตราส่วนต่างๆ ที่ได้กำหนด

ไว้ใน Table 1 ให้ผสมคลุกเคล้ากัน ดูแลกระถางทดลอง ได้แก่ การรักษาระดับน้ำอยู่ที่ 5-10 เซนติเมตร พร้อมทั้งการเก็บวัชพืชออกจากกระถางทดลองตลอดระยะเวลาการเพาะปลูก

9. ตรวจสอบลักษณะการเจริญเติบโตของข้าว

สังเกตลักษณะการเปลี่ยนแปลงและการเจริญเติบโตของต้นข้าว ซึ่งทำการสังเกตลักษณะต้นข้าวจาก 2 สัปดาห์ หลังจากการใส่ปุ๋ยครั้งแรกในระยะข้าวแตกกอ หลังจากปลูกข้าว 36 วันและหลังจากการใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 ในระยะที่ข้าวกำเนิดช่อดอก หลังจากปลูกข้าว 60 วัน ซึ่งทำการสังเกตการเจริญเติบโตและการเปลี่ยนแปลงด้านความสูง จำนวนการแตกกอ และจำนวนรวงของข้าว

10. การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในน้ำชะ

ทำการเก็บน้ำชะในจานรองกระถางทดลอง 21 กระถาง ใส่ขวดพลาสติกขนาด 60 มิลลิลิตร หยดด้วยกรดไนตริก 3 หยด ทำการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการเคมี เตรียมตัวอย่าง 30 ml ใส่ลงในเวสเซล (vessel) เติมกรดไนตริก ความเข้มข้น 68% w/w 3.3 ml ย่อยโดยใช้เครื่อง Microwave Digestion ด้วยวิธีมาตรฐาน US. EPA method 3015 A ปรับปริมาตรเป็น 50 ml และนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS

11. การเก็บเกี่ยวผลผลิต ตรวจวัดผลผลิต และวิเคราะห์โลหะหนักในเมล็ดข้าว

ทำการเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าว เมื่อข้าวมีอายุครบ 110 วัน วัดความสูงของต้นข้าวด้วยตลับเมตรมีหน่วยเป็นเซนติเมตรและทำการฟาดข้าวเพื่อนำเมล็ดข้าวไปวิเคราะห์ผลผลิตในหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อไร่วิเคราะห์น้ำหนักรวมของเมล็ดข้าว 1,000 เมล็ดต่อกระถาง มาทำการชั่งน้ำหนักโดยมีหน่วย กรัมต่อ 1,000 เมล็ด จากนั้นนำผลผลิตข้าวในแต่ละกระถางทดลองมาทำการเปรียบเทียบผลผลิตที่ได้เพื่อศึกษาว่าชุดทดลองใดให้ผลผลิตข้าวที่ดีที่สุด และหลังจากนั้นนำเมล็ดข้าวมาวิเคราะห์โลหะหนัก โดยการกะเทาะเปลือกข้าวออกและตำข้าวให้ละเอียดร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.2 มิลลิเมตร ย่อยโดยใช้เครื่อง Microwave Digestion ด้วยวิธีมาตรฐาน US. EPA method 3051 นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS

12. การเก็บตัวอย่างดินและวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี

ทำการเก็บตัวอย่างดินจากกระถางทดลอง ทั้งหมด 21 กระถางทดลอง โดยในแต่ละกระถางทดลองทำการเก็บตัวอย่างดิน 3 จุด ที่ความลึก 15 เซนติเมตรและตัวอย่างดินทั้ง 3 จุดมาผสมคลุกเคล้าให้เป็นเนื้อเดียวกัน หลังจากนั้นนำมาผึ่งในที่ร่มจนดินแห้ง บดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5 มิลลิเมตร เก็บตัวอย่างดินที่ได้ในแต่ละชุดการทดลองในถุงพลาสติกที่ระบุหมายเลขชุดทดลองอย่างชัดเจน นำตัวอย่างดินมาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีตามพารามิเตอร์เช่นเดียวกับข้อ 2

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของดินก่อนการทดลอง ดังแสดงใน Table 2 พบว่า ดินในพื้นที่ตำบลแม่ดาว อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก มีค่าความเป็นกรด-เบส 3.7 ซึ่งอยู่ในระดับกรดแก่ มีค่าการนำไฟฟ้า 4.0 dS/m ดินมีคุณสมบัติเค็มปานกลางและส่งผลกระทบต่อเจริญเติบโตของพืชบางชนิด ปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ระดับ 2.10 โดยปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 1.20 กรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 26.89 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 32.97 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และปริมาณโลหะหนักในดิน ใช้วิธีวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน US. EPA method 3051 ดังแสดงใน Table 3 พบว่า มีการปนเปื้อนโลหะหนัก ได้แก่ แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี และแมงกานีสในปริมาณ 37.60, 770.00, 135.51 และ 500.80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ปริมาณโลหะหนักดังกล่าวเกินเกณฑ์มาตรฐานการใช้ประโยชน์ที่ดิน ยกเว้นแมงกานีส ซึ่งโลหะหนักต้องไม่เกินค่ามาตรฐานที่ 37.00, 400.00, 100.00 และ 1,800 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งตามปทานุกรมปฐพีวิทยาจัดได้ว่าดินในพื้นที่การศึกษานี้มีความเป็นกรดจัด ปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับปานกลาง ปริมาณไนโตรเจนอยู่ในระดับปานกลาง ปริมาณฟอสฟอรัสที่

เป็นประโยชน์อยู่ในระดับสูง โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับต่ำ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2537)

Table 2 Some properties of soil before planting.

Soil property	Value
1. pH	3.70
2. Electric Conductivity (EC)	4.0 dS/m
3. Organic Matter (OM)	2.10 %
4. Total Nitrogen	1.20 g/kg
5. Available P	26.89 mg kg ⁻¹
6. Exchangeable K	32.97 mg kg ⁻¹

Table 3 The heavy metal in contaminated soil.

Heavy metal	Total heavy metal (mg kg ⁻¹)	Standard value* (mg kg ⁻¹)
Cd	37.60	37.00
Pb	770.00	400.00
Zn	135.51	100.00
Mn	500.80	1,800.00

* Soil Quality Standards for the Living and Agriculture of the Pollution Control Department (2004)

ผลการศึกษาคูณสมบัติทางเคมีของดินตะกอนน้ำประปาและมูลสุกร โดยใช้ดินตะกอนน้ำประปาจากโรงผลิตน้ำประปามหาสวัสดิ์ พบว่า ค่าความเป็นกรด-เบส 7.2 ค่าการนำไฟฟ้า 2.0 dS/m ปริมาณอินทรีย์วัตถุร้อยละ 3.5 โดยปริมาณธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดร้อยละ 0.18 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 28.63 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และปริมาณธาตุโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 42.77 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดินตะกอนน้ำประปาจากโรงผลิตน้ำประปามี SiO₂ ร้อยละ 40 และ Fe₂O₃ ร้อยละ 7 ซึ่งมีคุณสมบัติคล้ายกับดินเหนียว (กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, 2547) ผลการวิเคราะห์มูลสุกรที่เป็นปุ๋ยคอก พบว่า มีค่าความเป็นกรด-เบส 6.9 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดร้อยละ 2.69 และปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 8.45 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของกรมพัฒนาที่ดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2540) พบว่า มูลสุกรมีค่าความเป็นกรดปานกลาง มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงมาก (มากกว่า 0.225% คือ มีปริมาณไนโตรเจนสูงมาก) และปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำ (5-10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม คือ มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำ)

ผลการศึกษาความสามารถในการดูดซับของดินตะกอนน้ำประปา (Absorption Capacity) และอัตราส่วนของที่เหมาะสมของดินตะกอนน้ำประปาในการตรึงโลหะหนักเพื่อในการปลูกข้าว พบว่าที่ความเข้มข้น 40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดินตะกอนน้ำประปา 2 กรัม สามารถดูดซับโลหะหนักแคดเมียมและสังกะสี ได้ดีที่สุดร้อยละ 95 และแมงกานีสร้อยละ 59.72 แสดงใน Figure 1 เนื่องจากดินตะกอนมีองค์ประกอบของ SiO₂ และ Al₂O₃ เป็นส่วนมาก มีสภาพพื้นผิวเป็นประจุเป็นลบและ มีรูพรุนจึงสามารถดูดซับโลหะได้ดี (นิพนธ์ และคณิตา, 2559) ผลการศึกษ้อัตราส่วนของดินที่ปนเปื้อนต่อดินตะกอน 1:1 มีความเหมาะสมเป็นวัสดุตรึงโลหะหนักในดินทำให้ไม่มีการชะละลายของโลหะหนักออกสู่สิ่งแวดล้อม และสามารถทำให้ดินพื้นที่เหมืองสังกะสีปลูกข้าวได้ และการนำดินตะกอนน้ำประปามาใช้ร่วมกับมูล

สูตรในการปลูกข้าว พบว่า ดินตะกอนเป็นแหล่งธาตุอาหารฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่พืชต้องการ และมูลสูตรเป็นแหล่งธาตุอาหารของไนโตรเจนโดยตรง มีปริมาณไนโตรเจนสูงสามารถนำมาใช้ทดแทนปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) ในปริมาณ 70 กิโลกรัมต่อไร่ได้และให้ผลผลิตข้าวดี สอดคล้องกับงานวิจัยของ มณีรัตน์ (2559) ที่นำมูลสูตรมาปรับปรุงคุณภาพดินนาและลดอัตราการใช้ปุ๋ยเคมี พบว่า มูลสูตรที่อัตรา 70 กิโลกรัมต่อไร่มีปริมาณเท่ากับปุ๋ยยูเรีย

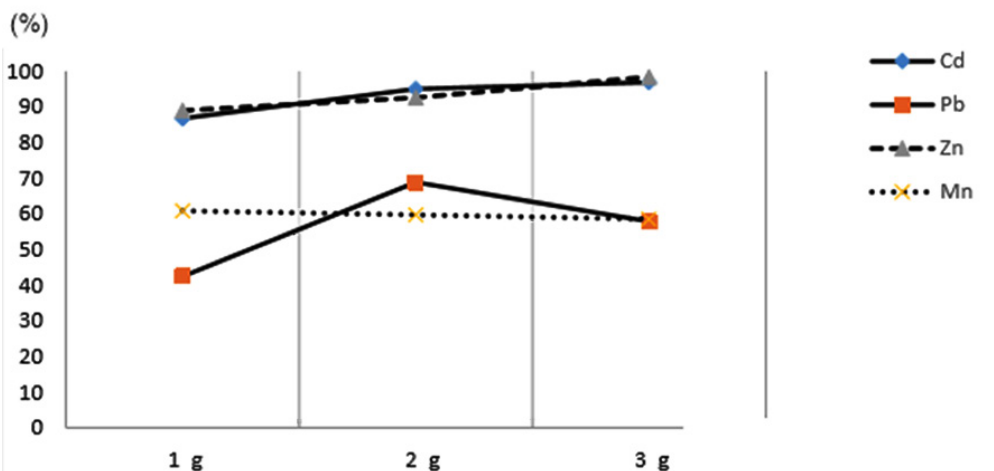


Figure 1 Absorption ability of sediment from water supply plant.

ผลการตรวจวัดคุณสมบัติทางเคมีหลังการเพาะปลูก จากการทดลองปลูกข้าวตามชุดการทดลองที่แสดงไว้ใน Table 1 พบว่า ชุดการทดลองที่ใช้ดินตะกอนเป็นวัสดุตั้งโลหะหนักในดินร่วมกับใช้มูลสูตรทำให้คุณสมบัติทางเคมีของดินหลังการเพาะปลูกดีกว่าก่อนการเพาะปลูก ดังแสดงใน Table 4 พบว่า มีค่าความเป็นกรด-เบส เพิ่มขึ้นเป็น 7.2 ซึ่งดินอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการปลูกพืช สอดคล้องกับงานวิจัยของสุมาลี (2536) ที่มีการใช้วัสดุที่มีสารประกอบออกไซด์ของแคลเซียมและแมกนีเซียม แก้ไขความเป็นกรดของดิน เนื่องจากเมื่อ Ca^{2+} เข้าไปแทนที่ H^{+} ให้ออกมาจากอนุภาคดินเหนียวมาอยู่ในสารละลายดินแล้ว H^{+} จะทำปฏิกิริยากับ OH^{-} ทำให้ไม่แสดงความเป็นกรดและดินตะกอนน้ำประปามีส่วนประกอบของ อะลูมิเนียมออกไซด์ มีสมบัติเป็นเบสทำให้ค่า pH ในดินเพิ่มสูงขึ้น (Mc Gowen, 2001) ค่าการนำไฟฟ้าประมาณ 2.0 dS/m ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินสูงร้อยละ 2.92 สอดคล้องกับการรายงานของ ประเสริฐ (2543) ที่พบว่า การนำมูลสูตรมาใช้ในการเกษตรส่งผลให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินเพิ่มสูงขึ้น และกรมพัฒนาที่ดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547) มูลสูตรเป็นวัสดุอินทรีย์ที่สามารถปรับปรุงคุณสมบัติทางเคมี และชีวภาพของดินให้มีความร่วนซุย ทำให้ดินมีการระบายน้ำและถ่ายเทอากาศได้ดีและเป็นวัสดุปรับปรุงคุณภาพดินที่ดีสำหรับการเกษตร ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินสูง 1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ สูง 41.00 มก./กก. ปริมาณโพแทสเซียมแลกเปลี่ยนได้สูง 80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในดินโดยการเปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลองที่ใช้ดินตะกอนเป็นวัสดุตั้งโลหะหนักและไม่ใช้ดินตะกอนดังแสดงใน Table 5 พบว่า ชุดการทดลองที่ไม่มีดินตะกอนน้ำประปาเป็นวัสดุตั้งโลหะหนัก (ชุดการทดลองที่ 1 และ 3) จะมีความแตกต่างในการตั้งโลหะหนักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดการทดลองที่มีการใช้ดินตะกอนน้ำประปา (ชุดการทดลองที่ 2, 4, 5, 6, และ 7) ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าดินตะกอนน้ำประปาสามารถตั้งโลหะหนักในดินได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Hawells and Caporn (1996) ที่มีการทดลองบำบัดดินปนเปื้อน ตะกั่ว และสังกะสี จากเหมืองสังกะสี พบว่าการตกตะกอนของโลหะหนักกับวัสดุ อินทรีย์จะไม่ละลายน้ำ เป็นการลดการเคลื่อนที่ของโลหะหนัก และโลหะหนักจะมีการสะสมไว้ในดินมากกว่าการชะละลาย จากการศึกษาน้ำชะละลายใน Table 6 พบว่า ชุดการทดลองที่ไม่มีการ

ใช้ดินตะกอนน้ำประปา (ชุดการทดลองที่ 1 และ 3) มีปริมาณโลหะหนักในน้ำชะละลายแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดการทดลองที่มีการใช้ตะกอนดินน้ำประปา (ชุดการทดลองที่ 2, 4, 5, 6, และ 7) ซึ่งพบว่าชุดการทดลองที่ไม่มีดินตะกอนน้ำประปามีปริมาณโลหะหนักในน้ำชะละลายสูงกว่าชุดการทดลองที่มีดินตะกอนน้ำประปาอย่างชัดเจน ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวมีความสอดคล้องกับผลการทดลองใน Table 5 ที่ชุดการทดลองใดที่มีการใช้ดินตะกอนน้ำประปาเป็นวัสดุตั้งจะมีโลหะหนักสะสมอยู่ในดินปริมาณมากใกล้เคียงกับดินก่อนการทดลองและมีปริมาณโลหะหนักของน้ำชะละลายในปริมาณน้อยและชุดการทดลองไม่ใช้ดินตะกอนน้ำประปาเป็นวัสดุตั้งจะมีโลหะหนักสะสมอยู่ในดินปริมาณน้อยและมีปริมาณโลหะหนักสูงในน้ำชะละลาย

Table 4 The compare properties of soil before planting and after planting.

Study	Before Planting	After Planting
1. pH	3.70	7.2
2. EC (dS/m)	4.0	2.0
3. OM (%)	2.10	2.92
4. Total Nitrogen (g/kg)	1.20	10.00
5. available-P content (mg kg ⁻¹)	26.89	41.00
6. exchangeable-K content (mg kg ⁻¹)	32.97	80.00

Table 5 The stabilized heavy metal of soil after harvesting.

Treatment	Cd (mg kg ⁻¹)	Pb (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)	Mn (mg kg ⁻¹)
Soil before planting	37.60	770.00	135.51	500.80
1. soil 10 kg	23.20 ^a	768.00	129.20 ^a	485.32 ^a
2. soil 5 kg+sediment 5 kg	37.29 ^c	768.60	133.72 ^c	488.92 ^b
3. soil 10 kg+CF 30 kg+Rice	24.19 ^b	734.68	130.64 ^b	488.31 ^a
4. soil 5 kg + sediment 5 kg + CF30 kg + Rice	37.24 ^c	768.61	134.58 ^d	488.71 ^b
5. soil 5 kg+sediment 5 kg+CF 30 kg+PM 70 kg+Rice	37.39 ^c	768.95	134.73 ^e	498.03 ^d
6. soil 5 kg+sediment 5 kg+CF 20 kg+PM 70 kg+Rice	37.57 ^c	769.00	134.91 ^f	490.67 ^c
7. soil 5 kg+sediment 5 kg+CF 10 kg+PM 70 kg+Rice	37.44 ^c	769.00	134.98 ^f	498.91 ^d
F-test ¹	*	ns	*	*
CV (%)	6.33	1.72	2.23	5.19

¹ F-test means in the same column followed by the same letter are not significantly different at $P \leq 0.05$ by Duncan.

* indicated significantly different at $P \leq 0.05$, ns indicated non-significantly different at $P \leq 0.05$.

Table 6 The heavy metals from the leached.

Treatment	Cd (mg/l)	Pb (mg/l)	Zn (mg/l)	Mn (mg/l)
1. soil 10 kg	14.27 ^b	1.15 ^d	4.96 ^g	2.43 ^c
2. soil 5 kg+sediment 5 kg	ND	ND	0.58 ^e	1.66 ^a
3. soil 10 kg+CF 30 kg+Rice	13.38 ^a	1.05 ^c	4.60 ^f	2.40 ^c
4. soil 5 kg+sediment 5 kg+CF30 kg+Rice	ND	0.07 ^b	0.51 ^d	1.98 ^b
5. soil 5 kg+sediment 5 kg+CF 30 kg+PM 70 kg+Rice	ND	0.04 ^a	0.42 ^c	1.70 ^{ab}
6. soil 5 kg+sediment 5 kg+CF 20 kg+PM 70 kg+Rice	ND	0.04 ^a	0.23 ^a	1.69 ^{ab}
7. soil 5 kg+sediment 5 kg+CF 10 kg+PM 70 kg+Rice	ND	0.05 ^a	0.38 ^b	1.87 ^{ab}
F-test ¹	*	*	*	*
CV (%)	6.64	0.48	2.02	0.28

¹ F-test means in the same column followed by the same letter are not significantly different at $P \leq 0.05$ by Duncan.

* ND = Not Detected

ผลการตรวจวัดคุณภาพผลผลิต จากการใช้ดินตะกอนเป็นวัสดุในการตรึงโลหะหนัก พบว่า ความสูงของข้าว ช่วงระยะเวลา 110 วัน ความสูง 105 เซนติเมตร ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของกรมการเกษตร (สำนักงานเกษตร อ่างทอง, 2553) กล่าวว่า ลักษณะพันธุ์ข้าว กข. 47 เป็นข้าวไวต่อแสง ลำต้นแข็งแรงและข้าวจะมีความสูงโดยเฉลี่ย 90-100 เซนติเมตร การออกรวงข้าว 19 รวงต่อกระถาง ให้ปริมาณผลผลิตสูงสุด 139 กรัมต่อกระถางหรือคิดเป็น 889 กิโลกรัมต่อไร่ น้ำหนักเมล็ดข้าวสูง 38.60 กรัมต่อ 1,000 เมล็ด โลหะหนักในเมล็ดข้าวไม่พบการปนเปื้อนของแคดเมียม และตะกั่ว แต่พบการปนเปื้อนของสังกะสี 0.54 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และแมงกานีส (Mn) 0.15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แต่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ที่คณะกรรมการอาหารและยาได้กำหนดไว้ที่ 15.60 และ 7.73 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ผลการศึกษาการลดอัตราการใส่ปุ๋ยเคมีของเกษตรกร พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมีของเกษตรกรจะมีด้วยกัน 2 ชนิด คือ ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) และปุ๋ยสูตร (16-16-16) การทำนาแบบเกษตรกรดั้งเดิมจะใช้ปุ๋ยเคมีในอัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ หว่านปุ๋ย 2 รอบ ค่าใช้จ่าย 540 บาท จากการทดลองพบว่า การลดปุ๋ยเคมีเหลือปริมาณ 20 กิโลกรัมต่อไร่ ใช้มูลสุกรในปริมาณ 70 กิโลกรัมต่อไร่ นั้นได้ผลดีที่สุด และเป็นการลดต้นทุนในการใช้ปุ๋ยเคมีของเกษตรกร ซึ่งเมื่อคิดเป็นมูลค่านั้นประมาณ 360 บาทต่อไร่ (ปุ๋ยเคมีอัตรา 18 บาท) และปริมาณมูลสุกร 70 กิโลกรัมเทียบเท่ากับปริมาณปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) ทำให้ประหยัดค่าปุ๋ยยูเรีย และการทำงานครั้งต่อไปจะลดต้นทุนไป 720 บาท/ไร่ เหลือค่าใช้จ่ายเพียง 360 บาท/ไร่

สรุปผลการทดลอง

การศึกษาประสิทธิภาพของดินตะกอนจากโรงผลิตน้ำประปาเพื่อตรึงโลหะหนักในดินที่ปนเปื้อนบริเวณเหมืองสังกะสี ดินตะกอนสามารถตรึงโลหะหนักในดินไม่ให้เคลื่อนย้ายหรือชะลายออกสู่สิ่งแวดล้อมได้ เนื่องจากมี 2 ปัจจัยด้วยกัน คือ ดินตะกอนมีธาตุ SiO_2 และ Al_2O_3 เป็นองค์ประกอบหลักทางเคมี มีลักษณะคล้ายกับดินเหนียว ซึ่งมีสภาพผิวเป็นประจุลบสามารถจับกับโลหะหนักที่เป็นประจุบวกได้และสมบัติทางกายภาพที่มีรูพรุนมากทำให้ดูดซับโลหะหนักได้ อัตราดินตะกอนต่อดินปนเปื้อนที่ 1:1 สามารถดูดซับโลหะได้ดีมีความเหมาะสมเป็นวัสดุตรึงโลหะหนักในดินเพื่อให้สามารถใช้ในการปลูกข้าวได้ การปลูกข้าวร่วมกับการใช้มูลสุกรเป็นการช่วยปรับปรุงคุณภาพดินให้มีความ

เหมาะสมในการเพาะปลูกข้าวทำให้คุณสมบัติทางเคมีของดินหลังการปลูกดีกว่าดินก่อนการปลูก และพบว่า การใช้ดินตะกอน 5 กิโลกรัม ดินปนเปื้อน กิโลกรัม ปุ๋ยเคมี 20 กิโลกรัม และปริมาณมูลสุกร 70 กิโลกรัม ให้ผลผลิตข้าวสูงสุด 889.00 กิโลกรัมต่อไร่ น้ำหนักเมล็ดข้าว 38.60 กรัมต่อ 1,000 เมล็ด ไม่พบปริมาณโลหะหนักแคดเมียมและตะกั่วในเมล็ดข้าว แต่พบปริมาณสังกะสีและแมงกานีสที่เป็นธาตุอาหารรองไม่เกินเกณฑ์มาตรฐาน การตรวจวัดปริมาณโลหะหนักในน้ำชะไม่พบแคดเมียมในน้ำชะ พบตะกั่ว สังกะสี และแมงกานีส อยู่ในระดับที่ไม่เกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้งลงชลประทาน และเพื่อเป็นแนวทางในการลดอัตราการใช้ปุ๋ยเคมีและปรับปรุงคุณภาพดินนา ปริมาณไนโตรเจนสูงจากมูลสุกรสามารถนำมาใช้แทนปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) ในปริมาณ 70 กิโลกรัมต่อไร่ และการลดอัตราการใส่ปุ๋ยเคมีของเกษตรกรเหลือเพียง 20 กิโลกรัมต่อไร่นั้นยังเป็นการลดความเป็นกรดของดินและเป็นการลดค่าใช้จ่ายของเกษตรกรอีกด้วย ซึ่งเป็นการประหยัดต้นทุนจากเดิมถึง 720 บาท/ไร่

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับการสนับสนุนการวิจัยจากทุนวิจัยเพื่อพัฒนาระดับบัณฑิตศึกษา คณะสิ่งแวดล้อมมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาที่ดิน. 2537. คู่มือเจ้าหน้าที่ของรัฐ เรื่อง การปรับปรุงดินด้วยอินทรีย์วัตถุ. กรุงเทพมหานคร: โครงการปรับปรุงบำรุงดินด้วยอินทรีย์วัตถุ กลุ่มอินทรีย์วัตถุและวัสดุเหลือใช้ กองอนุรักษ์ดินและน้ำ กรมพัฒนาที่ดิน
- กรมพัฒนาที่ดิน. 2547. รوبرูเรื่องดิน. ค้นคว้าวันที่ 14 มีนาคม 2559 จาก <http://www.1dd.go.th/ofswb/thaisoil/index.htm>
- กรมพัฒนาที่ดิน. 2554. คู่มือแนะนำการใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์อย่างมีประสิทธิภาพตามคำวิเคราะห์ดินสำหรับการปลูกพืชเศรษฐกิจ รายเขตประจำปีการเพาะปลูก 2554- 2556 เขตคลองสามวา. กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- กรมอุตุนิยมวิทยาพื้นฐานและการเมืองแร่. 2547. การประยุกต์ใช้ตะกอนดินจากน้ำประปา. พิมพ์ครั้งที่ 1. กลุ่มเทคโนโลยีโลหวิทยา สำนักอุตุนิยมวิทยาพื้นฐาน. กรุงเทพฯ
- ธนาพร ปลื้มพวง. 2557. ปริมาณแคดเมียมในข้าวที่ปลูกในดินนาปนเปื้อนแคดเมียมในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่ตาบ จังหวัดตาก ประเทศไทย. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.
- นิพนธ์ ตั้งคณานุรักษ์ และคณิดา ตั้งคณานุรักษ์. 2550. หลักการการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมี. พิมพ์ครั้งที่ 1, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ประเสริฐ สองเมือง. 2543. การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในนาข้าว. กรุงเทพมหานคร: กลุ่มงานวิจัยความอุดมสมบูรณ์ของดินและปุ๋ยข้าวและธัญพืช เมืองหนาว กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร.
- มนิรัตน์ โพธิ์นุด. 2559. การนำเถ้าลอยลิกไนต์และมูลสุกรมาใช้ประโยชน์เพื่อลดการใช้ปุ๋ยเคมีและปรับปรุงคุณภาพดินในนาข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ศิริลักษณ์ จันทร์โพธิ์. 2548. การกระจายตัวและความสัมพันธ์ระหว่างแคดเมียมและสังกะสี ในดิน บริเวณลุ่มน้ำแม่กุ ตำบลแม่กุ อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก. วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สรตนา เสนาะ. 2548. การดูดซับโลหะหนักของหญ้าแฝก ทานตะวัน และข้าว ที่ปลูกในดินปนเปื้อน สังกะสี แคดเมียม และตะกั่ว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สุมาลี สุทธิประดิษฐ์. 2536. ผลของปุ๋ยขาวและธาตุอาหารบางธาตุที่มีผลต่อผลผลิตของถั่วลิสงปลูกในดินนาชุดโคกเคียน. วารสารสงขลา นครินทร์ 12:51-57.
- สำนักงานเกษตรจังหวัดอ่างทอง. 2553 . ฐานข้อมูลพันธุ์ข้าวรับรองของไทย จาก http://www.brdd.in.th/rvdb/index.php?option=com_content&view=article&id=117:rd47&catid=34:non-photosensitive-lowland-rice&Itemid=55 ค้นคว้าวันที่ 6 มิถุนายน 2560.
- Asami, D.K., Y-J. Hong, D.M. Barrett and A.E. Mitchell. 2003. Comparison of the total phenolic and ascorbic acid content of freeze-dried and air-dried marionberry, strawberry and corn grown using conventional, organic and sustainable agricultural practices. J. Agric. Food Chem. 51(5): 1237-1241.

- Borda, M.J. and D.L. Sparks. 2008. Kinetics and mechanisms of metal (loid) sorption/desorption in soils: a multiscale assessment, p. 97-124. In A. Violante, P.M. Huang and G.M. Gadd (eds.). Editors, Biophysico-Chemical Processes of Heavy Metals and Metalloids in Soil Environments, John Wiley & Sons, New York.
- Codex Alimentarius Commission. 2006. Joint FAO/WHO Food Standards Programme Codex Alimentarius Commission Report of the 29th Session. Available Source: <http://www.codexalimentarius.>, May 15, 2010.
- Cotter-Howells, J. and S. Caporn. 1996. Remediation of contaminated land by formation of heavy metal phosphates. *Applied Geochemistry* 11: 335-342
- Liphadzi, M.S. and M.B. Kirkham. 2006. Physiological effects of heavy metals on plant growth and function, pp. 243- 270. In B. Hunang (ed.). *Plant Environment Interaction*. CRC Press, Florida.
- McGowen, S. L., Basta, N. T., Brown, G. O. 2001. Use of diammonium phosphate to reduce heavy metal solubility and transport in smelter-contaminated soil. *Journal of Environment Quality*, 30, 493-500.
- Pusapukdepob, J., P. Sawangwong, C. Pulket, D. Satraphat, S. Saowakontha, and S. Panutrakul. 2007. Health risk assessment of villagers who live near a lead mining area: A case study of Klity village, Kanchanaburi province, Thailand. *Southeast Asian Journal of Tropical Medicine and Public Health* 38: 168-177.