

ผลของการเติมของเสียอินทรีย์ที่มีต่อการดูดซับตะกั่วโดยทานตะวัน จากดินปนเปื้อนตะกั่วระดับสูง

Organic Waste Amendments Effect on Pb Uptake by Sunflower from Highly Pb-Contaminated Soil

ธิพา พานิช และ ศุภเกียรติ ศรีพนมรณกร

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร กรุงเทพฯ 10530

E-mail: suppakiet@gmail.com

Manuscript received October 24, 2015

Revised November 24, 2015

บทคัดย่อ

การศึกษาถึงผลของการเติมของเสียอินทรีย์ (มูลวัว สลัดจ์น้ำเสีย และปุ๋ยหมักจากขยะชุมชน) ที่มีต่อการดูดซับตะกั่วโดยทานตะวัน (*Helianthus annuus* L.) จากดินปนเปื้อนตะกั่วในระดับสูง ได้ดำเนินการทดลองโดยการปลูกพืชในกระถางทดลอง ผลการศึกษาพบว่า การเติมของเสียอินทรีย์โดยเฉพาะมูลวัวที่อัตรา 100 – 3,000 กก./ไร่ ไนโตรเจน/เฮกตาร์ ร่วมกับสารอีดีทีเอในอัตรา 5 มิลลิโมล/กก. มีผลทำให้ทานตะวันมีการเจริญเติบโตให้มวลชีวภาพที่เพิ่มขึ้น ขณะที่ทำให้ค่าความเข้มข้นของตะกั่วในราก ใบ และลำต้นของทานตะวันลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าความเข้มข้นของตะกั่วในราก ใบ และลำต้นอยู่ในช่วง 2,218-3,382 มก./กก., 622-3,055 มก./กก. และ 382-959 มก./กก. ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างส่วนต่างๆของพืชทั้ง 3 ส่วน แล้วตะกั่วจะถูกดูดซับและเก็บสะสมในใบเป็นส่วนใหญ่ การวิเคราะห์รูปแบบทางเคมีของตะกั่วในดินหลังการเก็บเกี่ยวโดยวิธีสกัดตามลำดับ พบว่าการผสมของเสียอินทรีย์มีผลทำให้สัดส่วนตะกั่วในรูปเคลื่อนย้ายได้ง่ายถูกเปลี่ยนไปในรูปตะกั่วที่เคลื่อนย้ายได้น้อยลง

คำสำคัญ: ของเสียอินทรีย์, การดูดซับตะกั่ว, ไฟโตเอ็กสแทรกชัน

ABSTRACT

A pot experiment was conducted to study the effects of three organic waste types (i.e., cow manure, sewage sludge and municipal solid waste

compost) on Lead (Pb) uptake by sunflower (*Helianthus annuus* L.) from highly Pb-contaminated soil. The organic wastes were applied to the soil at the rates of 100-3,000 kg N/ha in the presence of EDTA at 5 mmol/kg. The results indicated that the application of the organic wastes, especially of the cow manure, led to plant growth and biomass increment. The concentration of Pb in roots, leaves, and stems of sunflower significantly decreased when the organic waste were applied. The Pb concentration of sunflower ranged from 2,218 to 3,382 mg/kg, 622 to 3,055 mg/kg and 382 to 959 mg/kg in roots, leaves, and stems, respectively. For a comparison of the three plant parts, leaves accounted for the majority for the Pb uptake and accumulation. Sequential fractionations of the soil after harvesting indicated that addition of these organic wastes can redistribute Pb in the soil from more to less mobile fractions.

Keywords: Organic waste, Pb uptake, Phytoextraction

1. บทนำ

การบำบัดดินที่ปนเปื้อนโลหะหนักโดยพืชด้วยวิธีการสกัดด้วยพืช (Phytoextraction) เป็นวิธีที่อาศัยความสามารถของพืชดูดซับเอา

โลหะหนักไปสะสมไว้ตามส่วนต่าง ๆ ซึ่งจะได้มากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ ประเภทและปริมาณโลหะหนัก และชนิดของพืช เป็นต้น สำหรับโลหะตะกั่ว (Pb) มักอยู่ในรูปที่ละลายได้ต่ำมากในดิน ส่วนทานตะวัน (*Helianthus annuus* L.) ถือเป็นพืชที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีเกือบทุกสภาวะแวดล้อมรวมถึงทนทานต่อความเป็นพิษของ Pb ได้สูงสามารถสะสม Pb ในส่วนเหนือดินได้ถึง 5,164 มก./กก. [1] การเพิ่มมวลชีวภาพของพืชมีความสำคัญอย่างมากต่อปริมาณการเคลื่อนย้ายโลหะหนักออกจากดินในการบำบัดด้วยวิธีนี้ [2] โดยทั่วไปกระบวนการสกัดด้วยพืชมักใช้ในการบำบัดดินปนเปื้อน Pb ในระดับต่ำถึงระดับไม่สูงมากในช่วง 125-6,500 มก./กก. ซึ่งเป็นระดับการปนเปื้อนที่พืชทั่วไป เช่น ทานตะวัน ข้าวโพด และผักกาดเขียวปลี ยังสามารถเจริญเติบโตได้ดี [3] สำหรับดินปนเปื้อน Pb ในระดับสูงนั้นนอกจากความเป็นพิษของ Pb แล้วดินมักขาดธาตุอาหารและมีลักษณะสมบัติที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช สำหรับของเสียอินทรีย์นั้นมักประกอบด้วยอินทรีย์วัตถุ ธาตุอาหาร และลักษณะสมบัติที่เหมาะสมในการปรับปรุงดินและช่วยในการเจริญเติบโตของพืช งานวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าการเติมของเสียอินทรีย์ในดินส่งผลโดยรวมให้มีการดูดซับโลหะหนักที่เพิ่มขึ้น [4] และมีการชะละลายที่ลดลง [5] ดังนั้นการศึกษาถึงผลการเติมของเสียอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโต การดูดซับ Pb และรูปแบบของ Pb ในดินนี้จะทำให้ทราบถึงศักยภาพในการใช้ประโยชน์จากของเสียอินทรีย์ดังกล่าวในกระบวนการสกัดด้วยพืช

2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

ดินที่ใช้ศึกษามาจากบริเวณโรงงานหลอม Pb จากแบตเตอรี่เก่าจังหวัดระยอง ที่ระดับความลึก 0-20 ซม. มูลวัวจากโรงเรือนเลี้ยงวัว สลัดจ์น้ำเสียเป็นสลัดจ์ที่ได้ผ่านการย่อยสลายแบบไร้อากาศของโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำหนองแขม และปุ๋ยหมักจากโรงหมักปุ๋ยขยะอ่อน นุช ตัวอย่างถูกผึ่งให้แห้งและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มม. รูปแบบการทดลองประกอบด้วย (1) ขุดควบคุมดินแห้ง 5 กก. (2) ขุดดินใส่ปุ๋ยเคมี (ตามข้อแนะนำกรมส่งเสริมการเกษตร [6]) (3) ขุดดินใส่มูลวัวหรือสลัดจ์น้ำเสียหรือปุ๋ยหมักในปริมาณ 10.63-329.51 กรัม หรือ 7.26-225 กรัม หรือ 10.58-327.83 กรัม ตามลำดับ คิดเป็นอัตราเทียบเท่า 100-3,000 กก.ไนโตรเจน/เฮกตาร์ บ่มดินในกระถาง 14 วัน ก่อนปลูกทานตะวัน ครบ 53 วัน เติม EDTA (Ethylenediaminetetraacetic acid) ปริมาณ 5 มิลลิโมล/กก.ดิน เก็บเกี่ยวเมื่อครบ 60 วัน วิเคราะห์ Pb ในส่วนราก ลำต้น และใบของทานตะวันและสกัดหาค่าประกอบรูปแบบทางเคมีของ Pb ในดิน [7] ซึ่งประกอบไปด้วยรูปที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable, EXCH) รูปคาร์บอเนต (Carbonate Bound, CARB) รูปออกไซด์ของเหล็กและแมงกานีส (Fe-Mn Oxide Bound, Fe-Mn OXB) รูป

สารอินทรีย์ (Organically Bound, ORGB) และรูปที่คงเหลือ (Residual, RESD)

3. ผลการศึกษาและวิเคราะห์ผล

3.1 ลักษณะสมบัติดิน มูลวัว สลัดจ์น้ำเสีย และปุ๋ยหมัก

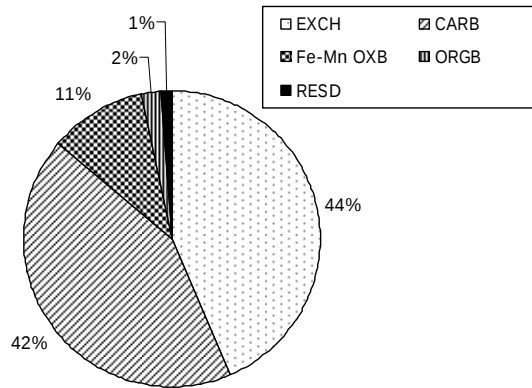
จากตารางที่ 1 พบว่าตัวอย่างดินจัดเป็นดินทรายมีสภาพเป็นกรดที่ค่า pH = 5.14 ร้อยละ Organic C, Total N และ Total P = 0.52, 0.09 และ 0.16 ตามลำดับ โดยมีค่า Total Pb สูงมากถึง 17,128 มก./กก. ซึ่งสอดคล้องกับรายงานผลการสำรวจและวิเคราะห์ปริมาณการปนเปื้อน Pb ในดินรอบโรงงานดังกล่าวที่พบว่ามีระดับ Pb ในช่วง 90-22,032 มก./กก. [8] จากการวิเคราะห์องค์ประกอบรูปแบบทางเคมีของ Pb ในดิน ดังแสดงในรูปที่ 1 พบว่าส่วนใหญ่ร้อยละ 44 อยู่ในรูปที่แลกเปลี่ยนได้ ขณะที่อยู่ในรูปคาร์บอเนต รูปออกไซด์ของเหล็กและแมงกานีส รูปสารอินทรีย์ และรูปที่คงเหลือ ร้อยละ 42, 11, 2 และ 1 ตามลำดับ ทั้งนี้จะเห็นได้ว่า Pb ส่วนใหญ่อยู่ในรูปที่เคลื่อนย้ายได้ง่ายซึ่งมีความเสี่ยงสูงต่อการชะละลายสู่แหล่งน้ำใต้ดินและแหล่งน้ำผิวดิน

ตารางที่ 1 ลักษณะสมบัติตัวอย่างดินและของเสียอินทรีย์

พารามิเตอร์	ดิน	ของเสียอินทรีย์		
		มูลวัว	สลัดจ์น้ำเสีย	ปุ๋ยหมัก
pH	5.14	8.82	6.12	7.48
EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	170	6390	2,050	5,520
Organic C (%)	0.52	19.00	12.72	30.66
Total Pb(mg/kg)	17,128	29	208	244
Total N (%)	0.09	1.96	2.87	1.97
Total P (%)	0.16	1.43	1.97	1.69
C:N	5.65	9.69	4.43	15.56
Sand:Slit:Clay(%)	64:11:25	-	-	-

สำหรับตัวอย่างมูลวัวมีค่า pH = 8.82 สูงกว่าค่า pH ของปุ๋ยหมัก และสลัดจ์น้ำเสียคือ 7.48 และ 6.12 ตามลำดับ ค่า total N และ Total P ในสลัดจ์น้ำเสียมีค่าร้อยละ 2.87 และ 1.97 ตามลำดับ มีค่าสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยหมักและมูลวัว เมื่อเปรียบเทียบค่า organic C พบว่าในปุ๋ยหมักมีค่าร้อยละ 30.66 เทียบเป็นอัตราส่วน C:N=15.56 สูงกว่าในมูลวัวและสลัดจ์น้ำเสียที่มีค่าเท่ากับ 9.69 และ 4.43 ตามลำดับ ซึ่งค่า C:N ที่สูงแสดงถึงการที่สารอินทรีย์ยังไม่ถูกย่อยสลายได้โดยสมบูรณ์ สำหรับปริมาณ Pb ใน

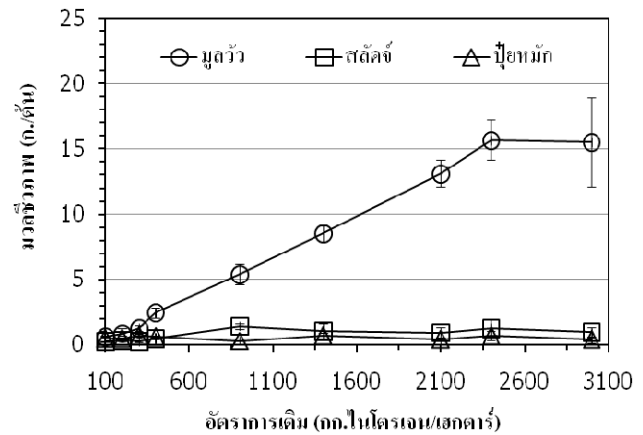
ปุ๋ยหมัก สลัดจ์น้ำเสีย และมูลวัวพบว่ามีค่าเท่ากับ 244 มก./กก., 208 มก./กก. และ 29 มก./กก. ตามลำดับ



รูปที่ 1 องค์ประกอบรูปแบบทางเคมีของ Pb ในดิน

3.2 มวลชีวภาพแห้งของทานตะวัน

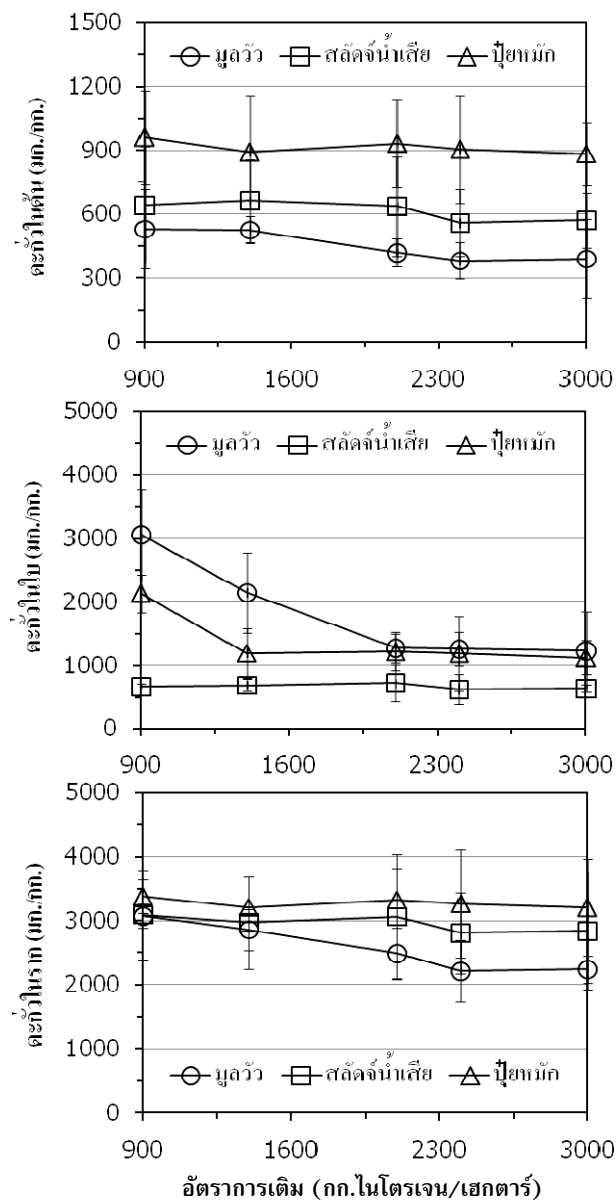
ทานตะวันที่ปลูกในชุดการทดลองควบคุมและชุดเติมปุ๋ยเคมีมีการเจริญเติบโตช้ามากและตายไปทั้งหมดระหว่างการทำทดลอง ขณะที่ชุดการทดลองที่มีการเติมของเสียอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด จากรูปที่ 2 จะเห็นได้ว่าการเติมมูลวัวมีผลต่อการเพิ่มมวลชีวภาพแห้งของทานตะวันเพิ่มขึ้นตามอัตราการเติมที่สูงขึ้นจนถึงระดับ 2,400 กก. ไนโตรเจน/เฮกตาร์และมีแนวโน้มคงที่เมื่อมีอัตราการเติมที่สูงขึ้น ขณะที่การเติมสลัดจ์น้ำเสียหรือปุ๋ยหมักให้ผลต่อการเพิ่มมวลชีวภาพแห้งของทานตะวันที่น้อย นอกจากนี้การเพิ่มอัตราการเติมไม่มีผลชัดเจนต่อการเพิ่มมวลชีวภาพแห้ง โดยจากชุดการทดลองทั้งหมดที่มีการเติมมูลวัว หรือ สลัดจ์น้ำเสีย หรือปุ๋ยหมักให้มวลชีวภาพส่วนเหนือดินเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.60-15.67, 0.25-1.42, และ 0.28-0.70 กรัม/ต้น ตามลำดับ เทียบกับ ชุดควบคุม และชุดปุ๋ยเคมีที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.09 กรัม และ 0.24 กรัม ตามลำดับ เปรียบเทียบจากผลการทดลองของ Chen et al. [9] ที่พบว่ามวลชีวภาพแห้งส่วนเหนือดินของทานตะวันมีค่าเท่ากับ 0.16 กรัม/ต้น ปลูกในดินปนเปื้อนตะกั่ว 2,500 มก./กก. และจากการทดลองของ Cooper et al. [1] ที่พบว่ามวลชีวภาพแห้งส่วนเหนือดินของทานตะวันมีค่าเท่ากับ 0.35 ก./ต้น ซึ่งปลูกในดินปนเปื้อนตะกั่ว 3,989 มก./กก.



รูปที่ 2 มวลชีวภาพแห้งของทานตะวัน

3.3 ปริมาณตะกั่วในส่วนต่าง ๆ ของทานตะวัน

รูปที่ 3 แสดงค่าความเข้มข้น Pb ในราก ลำต้น และใบ ของทานตะวัน พบว่ามีค่าความเข้มข้น Pb ในรากสูงกว่าใบ และลำต้นตามลำดับ อัตราการเติมมูลวัวที่มากขึ้นมีแนวโน้มทำให้ค่าความเข้มข้น Pb ในราก ลำต้น และใบ ลดลง ส่วนการเติมปุ๋ยหมักและสลัดจ์น้ำเสีย พบว่าอัตราการเติมที่มากขึ้นมีความสัมพันธ์ไม่ชัดเจนกับการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มข้น Pb ในราก ลำต้น และใบ ค่าความเข้มข้น Pb เฉลี่ยในส่วนต่าง ๆ ของทานตะวัน ที่ปลูกในชุดมูลวัว ชุดสลัดจ์น้ำเสีย และชุดปุ๋ยหมัก พบว่าในรากมีค่าอยู่ในช่วง 2,218-3,070, 2,806-3,093 และ 3,106-3,382 มก./กก. ในลำต้นมีค่าอยู่ในช่วง 382-530, 559-662 และ 864-959 มก./กก. ในใบมีค่าอยู่ในช่วง 1,229-3,055, 622-718 และ 1,122-2,128 มก./กก. ตามลำดับ เปรียบเทียบจากผลการทดลองของ Boonyapookana [10] พบว่าทานตะวันปลูกในดินปนเปื้อน Pb 1,542 มก./กก. เติม EDTA 7.5 มิลลิโมล/กก. มีค่าความเข้มข้นในราก ลำต้น และใบเท่ากับ 2,668, 843 และ 3,611 มก./กก. ตามลำดับ



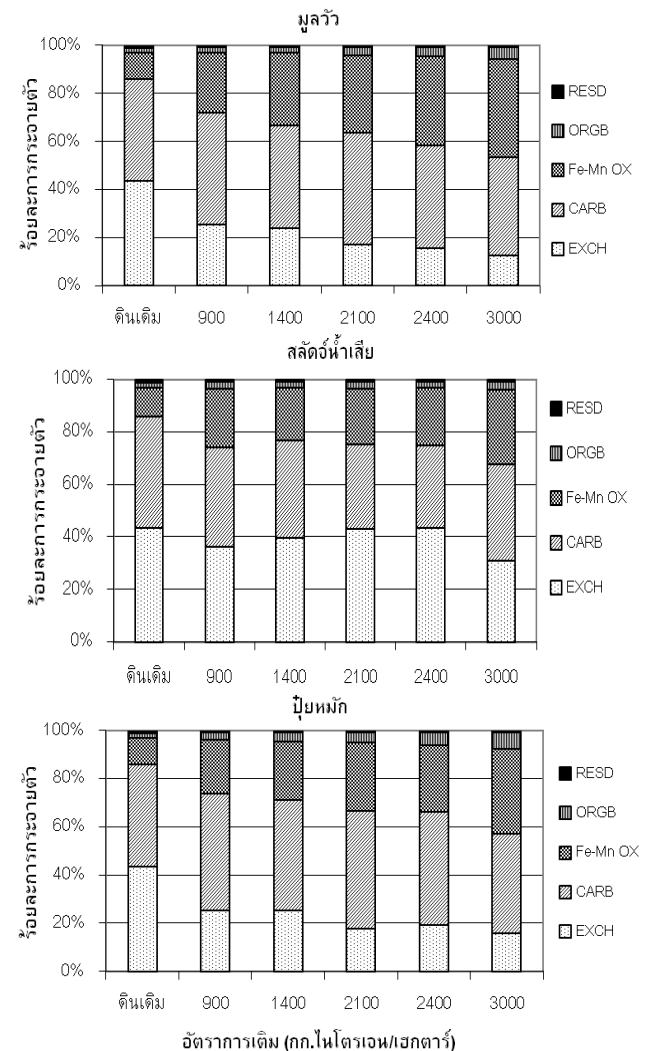
รูปที่ 3 ความเข้มข้น Pb ใน ราก ลำต้น และใบ

เมื่อเทียบเป็นปริมาณการสะสม Pb ในส่วนเหนือดินของ ทานตะวันในชุดการทดลองที่มีการเติมมูลวัว หรือสลัดจ์น้ำเสีย หรือ ปุ๋ยหมัก พบว่ามีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 7.30-10.34, 0.59-0.97 และ 0.37-0.68 มก./ต้น ตามลำดับ เปรียบเทียบงานวิจัยที่ผ่านมาของ Chen et al. [9] พบว่าทานตะวันที่ปลูกในดินปนเปื้อน Pb 2,500 มก./กก. เติม EDTA 5 มิลลิโมล/กก. สามารถสะสม Pb ในส่วนเหนือดิน 0.29 มก./ต้น และการทดลองของ Cooper et al. [1] พบว่าทานตะวันที่ปลูกในดินปนเปื้อน Pb 3,989 มก./กก. เติม

CDTA (Cyclohexylenedinitrotetraacetic acid) 20 มิลลิโมล/กก. สะสม Pb ในส่วนเหนือดินได้ 1.8 มก./ต้น จะเห็นได้ว่าจากผลการศึกษการเติมของเสียอินทรีย์โดยเฉพาะมูลวัวในดินมีผลให้ ทานตะวันสามารถดูดดึง Pb มาสะสมได้ในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลโดยตรงจากการที่ทานตะวันสามารถเจริญเติบโตได้ดีขึ้นและให้มวลชีวภาพที่มากขึ้น

3.4 องค์ประกอบรูปแบบทางเคมีของตะกั่วในดิน

องค์ประกอบรูปแบบทางเคมีของ Pb ในดินหลังการเก็บเกี่ยว แสดงในรูปที่ 4 พบว่าการเติมของเสียอินทรีย์ประเภทต่างๆมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณ Pb ในแต่ละรูปแบบในดินโดยมีผลทำให้ สัดส่วนตะกั่วในรูปที่แลกเปลี่ยนได้ในดินมีค่าลดลง



รูปที่ 4 ร้อยละของสัดส่วนรูปแบบทางเคมีของ Pb ในดิน

ในชุดการทดลองที่มีการเติมมูลวัว และปุ๋ยหมักที่อัตราการเติมต่าง ๆ สามารถลด Pb ในรูปที่แลกเปลี่ยนได้มากขึ้นตามปริมาณการเติมที่เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 44 เหลือในช่วงร้อยละ 12.7 - 24.2 และ 16.0 - 25.1 ตามลำดับ สอดคล้องกับผลการทดลองของ Alvarenga et al. [4] พบว่าการเติมปุ๋ยหมักที่อัตรา 25-100 ตัน/เฮกตาร์ สามารถลด Pb ในรูปที่แลกเปลี่ยนได้มากขึ้นตามอัตราการเติมที่เพิ่มขึ้น ขณะที่การศึกษาเกี่ยวกับการชะละลายในดินปนเปื้อน Pb ระดับสูงแสดงให้เห็นว่าการเติมของเสียอินทรีย์ในดินที่มีต่อการลดลงอย่างมากของปริมาณ Pb ในรูปที่แลกเปลี่ยนได้ที่ถูกชะละลายออกจากดิน [5] ขณะที่การเติมสลัดจ์น้ำเสียในอัตราต่าง ๆ ทำให้สัดส่วน Pb ในรูปที่แลกเปลี่ยนได้ในดินลดลงในสัดส่วนที่น้อยกว่าจากร้อยละ 44 เหลือในช่วงร้อยละ 27.7 - 40.0 โดยไม่แสดงความสัมพันธ์ที่ชัดเจนกับอัตราการเติมสลัดจ์ในดิน สำหรับสัดส่วน Pb ที่อยู่ในรูปคาร์บอเนต รูปออกไซด์ของเหล็กและแมงกานีส และรูปสารอินทรีย์ มีปริมาณที่เพิ่มขึ้นตามอัตราการเติมของเสียอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น ส่วนสัดส่วน Pb ในรูปที่คงเหลือลดลงเล็กน้อยและไม่แสดงความสัมพันธ์ที่ชัดเจนกับอัตราการเติมของเสียอินทรีย์

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการผสมของเสียอินทรีย์ดังกล่าวในดินปนเปื้อน Pb ระดับสูงนั้นนอกจากมีส่วนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการสกัดด้วยพืชโดยกลไกการดูดซับ Pb จากดินมาสะสมในส่วนของต้นพืชแล้ว ของเสียอินทรีย์ที่ผสมในดินยังมีผลทำให้มีการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนองค์ประกอบรูปแบบทางเคมีของ Pb ในดิน จากรูปแบบที่สามารถเคลื่อนย้ายในดินได้ง่ายไปอยู่ในรูปแบบที่เคลื่อนย้ายได้น้อยลงหรือไม่เคลื่อนย้ายซึ่งลดความเสี่ยงของโอกาสที่เกิดการชะละลายของ Pb ในดินลงสู่แหล่งน้ำต่าง ๆ และเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมต่อไป

4. สรุปผลการศึกษา

จากผลการศึกษาสามารถสรุปผลได้ดังต่อไปนี้

4.1 ทานตะวันไม่สามารถเจริญเติบโตได้ในดินที่ปนเปื้อนตะกั่วระดับสูงและในดินดังกล่าวที่มีการเติมปุ๋ยเคมี ขณะที่การเติมมูลวัวให้ผลดีต่อการเจริญเติบโตของทานตะวันมากที่สุด โดยการเติมมูลวัวสลัดจ์น้ำเสีย และปุ๋ยหมักในช่วง 100-3,000 กก./ไร่/ตร.ก. ให้มวลชีวภาพแห้งในช่วง 0.72-16.94, 0.30-1.52 และ 0.33-0.82 กรัม/ต้น ตามลำดับ

4.2 ค่าความเข้มข้น Pb ในส่วนต่าง ๆ ของทานตะวันมีแนวโน้มลดลงมากขึ้นตามอัตราการเติมของเสียอินทรีย์ที่สูงขึ้น ค่าความเข้มข้น Pb ในรากที่ปลูกในดินที่เติมมูลวัว สลัดจ์น้ำเสีย และปุ๋ยหมักมีค่าเฉลี่ยในช่วง 2,218-3,071, 2,806-3,093 และ 3,206-3,379 มก./กก. ตามลำดับ ในต้นมีค่าเฉลี่ยในช่วง 382-530, 559-662 และ 884-959 ในใบมีค่าเฉลี่ยในช่วง 1,229-3,055, 622-718 และ

1,122-2,128 มก./กก. ตามลำดับ โดยเทียบเป็นค่าการสะสม Pb ในส่วนเหนือดินในช่วง 7.30-10.34, 0.59-0.97 และ 0.37-0.68 มก./ต้น ตามลำดับ

4.3 การวิเคราะห์รูปแบบทางเคมีของ Pb ในดินหลังการเก็บเกี่ยวโดยวิธีสกัดตามลำดับ พบว่าการผสมของเสียอินทรีย์ในดินมีผลทำให้สัดส่วนรูปแบบทางเคมีของ Pb ที่อยู่ในรูปเคลื่อนย้ายได้ง่ายมีสัดส่วนที่น้อยลงโดยถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปที่เคลื่อนย้ายได้น้อยในสัดส่วนที่มากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] E.M. Cooper, J.T. Sims, S.D. Cunningham, J.W. Huang and W. R. Berti, "Chelate-assisted phytoextraction of lead from contaminated soils", Journal of Environmental Quality, vol. 28, no. 6, pp. 1709-1719, 1999.
- [2] J. W. Wong, W. W. Wong, Z. Wei, and H. Jagadeesan, "Alkaline biosolids and EDTA of phytoremediation of an acidic loamy soil spiked with cadmium", Science of The Total Environment, vol. 324, no. 1-3 pp. 235-246, 2004.
- [3] J. R. Henry, "An overview of phytoremediation of lead and mercury, U.S. Environmental Protection Agency, <http://clu-in.org>, 2000.
- [4] P. Alvarenga, A.P. Goncalves, R.M. Fernandes, A. da Varennes, G. Vallini, E. Duarte and A.G. Cunha-Queda, "Organic residues as immobilizing agents in aided phytostabilization: effects on soil chemical characteristics", Chemosphere, vol. 74, no. 10, pp. 1292-1300, 2009.
- [5] อธิพา พานิช และ ศุภเกียรติ ศรีพนมธนากร "ผลของการเติมของเสียอินทรีย์ที่มีต่อลักษณะการชะละลายจากดินปนเปื้อนตะกั่วในระดับสูง" วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา ปีที่ 21 ฉบับที่ 3 หน้า 35-45, 2553.
- [6] กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ "ทานตะวัน" <http://www.doae.go.th/library>, 2541.
- [7] A. Tessier, P.G.C. Cambell and M. Bisson, "Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals", Analytical Chemistry, vol. 51, pp 844-851, 1979.
- [8] N. Tawinteung, Physico Chemical Technique, Soil Washing and Soil Flushing for Remediation of Lead Contaminated Soils, PhD. Dissertation, Inter-University Program on Environmental Toxicology, Asian Institute of Technology, Thailand, 2004.
- [9] Y. Chen, X.D. Li and Z.G. Shen, "Leaching and uptake of heavy metals by ten different species of plants during an EDTA-assisted phytoextraction process", Chemosphere, vol. 57, no. 3, pp. 187-196, 2004.

- [10]B. Boonyapookana, “Phytoremediation techniques for a Lead contaminated site focusing hyperaccumulating plants”, PhD. Dissertation, Technical Science, Asian Institute of Technology, Thailand, 2004.



ศุภเกียรติ ศรีพนมธนากร สำเร็จการศึกษา
ระดับปริญญาตรีสาขาวิศวกรรมสภาวะแวดล้อม
และปริญญาโทสาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
จากมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และจบการศึกษา
ระดับปริญญาเอกสาขา Water and
Wastewater Engineering จาก Asian
Institute of Technology ปัจจุบันเป็นอาจารย์
ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีมหานคร