



เปรียบเทียบการเจริญเติบโตและการสะสมตะกั่วของทานตะวัน
และข้าวฟ่างในดินที่ปนเปื้อนตะกั่ว

Comparison of Growth and Lead Accumulation of Sunflower
and Sorghum in Lead Contaminated Soil

สายชล สุขญาณกิจ¹ และ ธนวรรณ พาณิชพัฒน์^{1*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองในโรงเรือนเพื่อศึกษาปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วที่สะสมในส่วนต่าง ๆ ของทานตะวันและข้าวฟ่างที่ปลูกในดินปนเปื้อนตะกั่วจากบ้านคลิตี้ จังหวัดกาญจนบุรี และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการเคลื่อนย้ายตะกั่วจากดินเข้าสู่พืชที่ระยะเก็บเกี่ยว 35 70 และ 105 วัน โดยพิจารณาจากค่า BCF และ TF จากการทดลองพบว่า ทานตะวันและข้าวฟ่างมีปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วสูงที่สุดที่ระยะ 105 วัน โดยทานตะวันมีปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วสูงสุด 137.79 ± 20.14 มก./กก. และข้าวฟ่างมีปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วได้สูงสุด 80.73 ± 12.52 มก./กก. โดยทั้งทานตะวันและข้าวฟ่างมีการสะสมตะกั่วในรากได้สูงสุด รองลงมาคือ ลำต้นและใบ ดอก เปลือก และเมล็ด ตามลำดับ จากการทดลองพบว่า ในเมล็ดของทั้งทานตะวันและข้าวฟ่างมีปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วเกินค่ามาตรฐานเพื่อการบริโภคเป็นอาหารมนุษย์ แต่ไม่เกินค่ามาตรฐานของอาหารสัตว์ เมื่อศึกษาการเจริญเติบโตของทั้งทานตะวันและข้าวฟ่างในดินที่มีการปนเปื้อน และดินที่ไม่มีการปนเปื้อนตะกั่ว พบว่าพืชทั้งสองชนิดมีการเจริญเติบโตที่ใกล้เคียงกัน ($P > 0.05$) ในการเคลื่อนย้ายตะกั่วจากดินเข้าสู่พืชพบว่าทานตะวันที่ระยะ 105 วัน มีค่า BCF สูงที่สุด ขณะที่ข้าวฟ่างมีประสิทธิภาพสูงสุดในการเคลื่อนย้ายตะกั่วจากรากขึ้นสู่ส่วนเหนือดิน (TF) ที่ระยะ 35 วัน

¹หลักสูตรวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม 73140

*Corresponding Author, E-mail: faastwp@ku.ac.th

ABSTRACT

This research was conducted in the greenhouse to determine the concentration of lead accumulation in different parts of sunflower and sorghum planting in lead contaminated soil from Klity Village, Kanchanaburi province and comparison efficiency of lead translocation from soil into plants at harvesting of 35 days, 70 days and 105 days by considering BCF and TF. The results indicated that sunflower and sorghum accumulated lead to the highest concentration of $137.79 \pm 20.14 \text{ mg kg}^{-1}$ and $80.73 \pm 12.52 \text{ mg kg}^{-1}$ in 105 days, respectively. Both sunflower and sorghum were the highest lead accumulation in roots, stems and leaves, pericarps and seeds, respectively. The results showed the concentration of lead in seeds exceeded the standard for human consumption as food but did not exceed the standard as animal feed. The study of growth both sunflower and sorghum in lead contaminated and uncontaminated soil demonstrated the similar growth rate ($P > 0.05$). The BCF was the highest efficiency of lead translocation from soils to accumulate in various parts of sunflower in 105 days and TF was the highest efficiency of lead translocation from roots to shoots of sorghum in 35 days.

คำสำคัญ: ทานตะวัน ข้าวฟ่าง ตะกั่ว การสะสม บ้านคลิตี้

Keywords: Sunflower, Sorghum, Lead, Accumulation, Klity village

บทนำ

การปนเปื้อนของโลหะหนักในดินเป็นปัญหาหลักอย่างหนึ่งทางสิ่งแวดล้อม โดยมักมีผลมาจากกิจกรรมในภาคอุตสาหกรรม เช่น การทำเหมืองแร่และการหล่อโลหะ การปล่อยก๊าซเสียของยานพาหนะ รวมถึงการใช้ปุ๋ยและยาปราบศัตรูพืช (Pendias and Pendias, 1992) โดยเฉพาะตะกั่วสามารถตกค้างในสิ่งแวดล้อมได้นาน อีกทั้งยังสามารถเคลื่อนย้ายเข้าไปสะสมในส่วนต่าง ๆ ของพืชได้ โดยเฉพาะบริเวณรากซึ่งมักมีการสะสมสูงที่สุด (Marchiol et al., 2007) และหากได้รับตะกั่วเข้าสู่ร่างกายจะมีผลต่อเซลล์ในเนื้อเยื่อส่วนต่าง ๆ โดยจะทำให้เกิดการผิดปกติ โดยเฉพาะในเนื้อเยื่ออ่อนที่มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว อาการแบบเฉียบพลันของการได้รับตะกั่ว คือ

คลื่นไส้ อาเจียน ปวดท้องรุนแรง ชัก หหมดสติ อาจมีอาการเยื่อหุ้มสมองอักเสบเฉียบพลัน รวมทั้งมีอาการทางระบบประสาท (อลิสสา, 2553) แหล่งที่มีการปนเปื้อนตะกั่วที่สำคัญของประเทศไทยในปัจจุบันอยู่บริเวณบ้านคลิตี้ อำเภอกองคาจันบุรี จังหวัดกาญจนบุรี โดยเกิดการรั่วไหลของตะกั่วในดินและน้ำที่มีความเข้มข้นของตะกั่วจากบ่อเก็บกักตะกั่วลงสู่ลำห้วยคลิตี้ เป็นเหตุให้พื้นที่ดังกล่าวมีปริมาณตะกั่วสูงเกินมาตรฐาน (สำนักจัดการคุณภาพน้ำ, 2552) การใช้ทานตะวันและข้าวฟ่างในการดูดซับตะกั่วที่ปนเปื้อนในดิน ถือเป็นทางเลือกหนึ่งเพื่อใช้ในการบำบัดพื้นที่ปนเปื้อน ซึ่งทานตะวันและข้าวฟ่างเป็นธัญพืชที่มีความสำคัญ สามารถนำมาบริโภคหรือแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารของมนุษย์ หรือเป็นอาหารสัตว์ได้โดย

ค่ามาตรฐานของตะกั่วที่ยอมรับได้ในธัญพืชสำหรับการบริโภคเป็นอาหารของมนุษย์คือ 0.2 มก./กก. (น้ำหนักแห้ง) (Chen et al., 2011) ส่วนในอาหารสัตว์คือ 30 มก./กก. (น้ำหนักแห้ง) (Chaney, 1989) นอกจากนี้ยังสามารถนำลำต้นมาใช้ในการผลิตไบโอเอทานอลซึ่งเป็นพลังงานทางเลือกอย่างหนึ่งในปัจจุบัน โดย Mudgal et al. (2010) รายงานว่า ทานตะวันมีการสะสมตะกั่วในใบและลำต้น จึงมีความสามารถในการปรับปรุงดินที่มีการปนเปื้อนของตะกั่วสูง เช่นเดียวกับข้าวฟ่างที่มีความสามารถในการกำจัดโลหะหนักได้เป็นอย่างดี (Zhuang et al., 2009) การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) ศึกษาการเจริญเติบโตของทานตะวันและข้าวฟ่างที่ปลูกในดินที่มีการปนเปื้อนและไม่ปนเปื้อนตะกั่ว (2) เพื่อศึกษาปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วในส่วนต่างๆ ของทานตะวันและข้าวฟ่าง และ (3) เพื่อเปรียบเทียบความสามารถของทานตะวันและข้าวฟ่างในการเคลื่อนย้ายตะกั่วที่ปนเปื้อนในดินเข้ามาสะสมในส่วนต่างๆ ของพืช

วิธีการดำเนินการวิจัย

การเตรียมตัวอย่างดินและพืช

การทดลองนี้ทำในโรงเรือนทดลองของสถาบันวิจัยและพัฒนากำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน โดยใช้ทานตะวันพันธุ์โอเปร่า และข้าวฟ่างพันธุ์ เคเคยู 42 เก็บตัวอย่างดินที่มีการปนเปื้อนตะกั่วจากบ้านคลิตี้ ตำบลชะแล อำเภอกองคา จังหวัดกาญจนบุรี และตัวอย่างดินไม่ปนเปื้อนตะกั่วจากสถาบันวิจัยและพัฒนากำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม โดยดินแต่ละแห่งถูก

นำมาคลุกเคล้าให้เป็นเนื้อเดียวกันและตากให้แห้งในโรงเรือนเป็นเวลา 2 สัปดาห์ จากนั้นนำใส่กระถางพลาสติกกระถางละ 10 กิโลกรัม นำเมล็ดทานตะวันและข้าวฟ่างลงปลูก กระถางละ 3 เมล็ด หลังจากงอก 2 สัปดาห์ ทำการถอนแยกให้เหลือ 1 ต้นต่อกระถาง โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design, CRD) มีชุดการทดลองทั้งหมด 13 ชุดการทดลอง จำนวน 5 ซ้ำ มีรายละเอียดดังนี้ ชุดการทดลองที่ 1 2 และ 3 ปลูกทานตะวันในดินที่มีการปนเปื้อนตะกั่วและเก็บเกี่ยวที่ระยะ 35 70 และ 105 วัน ตามลำดับ ชุดการทดลองที่ 4 5 และ 6 ปลูกข้าวฟ่างในดินที่มีการปนเปื้อนตะกั่วและเก็บเกี่ยวที่ระยะ 35 70 และ 105 วัน ชุดการทดลองที่ 7 8 และ 9 ปลูกทานตะวันในดินที่ไม่มีการปนเปื้อนตะกั่วและเก็บเกี่ยวที่ระยะ 35 70 และ 105 วัน และชุดการทดลองที่ 10 11 และ 12 ปลูกข้าวฟ่างในดินที่ไม่มีการปนเปื้อนตะกั่วและเก็บเกี่ยวที่ระยะ 35 70 และ 105 วัน และชุดควบคุมซึ่งเป็นดินที่มีการปนเปื้อนตะกั่วแต่ไม่มีการปลูกพืชอีกหนึ่งชุดการทดลอง เก็บตัวอย่างดินก่อนปลูกพืชทั้งดินที่ปนเปื้อนตะกั่วและไม่ปนเปื้อนตะกั่วมาวิเคราะห์ค่าต่าง ๆ ดังนี้ เนื้อดิน (Gee and Bauder, 1986) ปฏิกริยาดิน (Thomas, 1996) อินทรีย์วัตถุในดิน (Nelson and Sommers, 1996) ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (Sumner and Miller, 1996) การนำไฟฟ้า (Rhoades, 1996) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Kuo, 1996) ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Helmke and Sparks, 1996) และปริมาณตะกั่วทั้งหมดในดิน (Anonymous, 1970) สมบัติทางกายภาพและเคมีของดินที่ใช้ในการทดลอง แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สมบัติทางกายภาพและเคมีของดินที่ใช้ในการทดลอง

| สมบัติทางเคมีและกายภาพ | ดินปนเปื้อนตะกั่ว | ดินไม่ปนเปื้อนตะกั่ว |
|---------------------------------------|-------------------|----------------------|
| เนื้อดิน | ร่วนเหนียว | ร่วนเหนียว |
| pH (1:1 soil:water) | 7.18 | 7.54 |
| E _{Ce} (dS m ⁻¹) | 0.69 | 0.62 |
| Organic matter (%) | 6.62 | 1.05 |
| Available P (mg kg ⁻¹) | 42.84 | 131.38 |
| Exchangeable K (mg kg ⁻¹) | 417.0 | 123.97 |
| CEC (cmol kg ⁻¹) | 24.46 | 5.21 |
| Total Soil Pb (mg kg ⁻¹) | 1419.15 | 35.08 |

การวิเคราะห์การเจริญเติบโตของพืช

วัดความสูงของทานตะวันและข้าวฟ่างที่ระยะ 35 70 และ 105 วัน หลังจากนั้นจึงเก็บเกี่ยวพืชที่ช่วงอายุต่าง ๆ ดังที่ได้กล่าวมานำมาล้างให้สะอาดด้วยน้ำประปา ตัดส่วนต่าง ๆ ให้มีขนาดเล็กลงแล้วชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน เมื่ออบแห้งเสร็จเรียบร้อยแล้วทำการชั่งน้ำหนักหลังอบแห้งอีกครั้ง (Panich-pat and Srinives, 2009)

การวิเคราะห์การสะสมตะกั่วในส่วนต่าง ๆ ของพืช

นำตัวอย่างพืชหลังอบมาแบ่งออกเป็นส่วนต่าง ๆ ได้แก่ ราก ลำต้นและใบ ดอก เปลือก และเมล็ด จากนั้นบดจนละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5 มิลลิเมตร ชั่งตัวอย่างพืช 0.2 มิลลิกรัม ใส่ในหลอดทดลองขนาด 75 มิลลิลิตร เติม conc. HNO₃ และ conc. HClO₄ อัตราส่วน 5:2 จำนวน 10 มิลลิลิตร นำหลอดทดลองใส่ใน hot-block digestion ย่อยสลายตัวอย่างจนได้สารละลายใส กรองสารละลายตัวอย่างด้วยกระดาษกรอง whatman no. 42 ใส่ลงใน volumetric flask ขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตร (Amacher, 1996) นำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์ความเข้มข้นของตะกั่วด้วยเครื่อง FAAS

(Anonymous, 1970) โดยจะวิเคราะห์ความเข้มข้นของตะกั่วในราก ลำต้นและใบ ดอก เปลือก และเมล็ด โดยทานตะวันและข้าวฟ่างที่มีอายุ 35 วัน แบ่งวิเคราะห์ 2 ส่วน คือ ส่วนราก และส่วนลำต้นและใบ ทานตะวันและข้าวฟ่างอายุ 70 วัน แบ่งวิเคราะห์เป็น 3 ส่วน คือ ราก ลำต้นและใบ และดอกทานตะวันและข้าวฟ่างอายุ 105 วัน แบ่งวิเคราะห์เป็น 4 ส่วน คือ ราก ลำต้นและใบ เปลือก และเมล็ด

ประสิทธิภาพของกระบวนการเคลื่อนย้ายตะกั่วสู่พืช

พืชที่จัดว่ามีประสิทธิภาพในการเคลื่อนย้ายโลหะเข้ามาสะสมในส่วนต่าง ๆ ของต้นพืชได้ดี (hyperaccumulator) จะต้องสามารถเคลื่อนย้ายโลหะเข้ามาสะสมได้ไม่น้อยกว่า 1,000 มก./กก. (อลิสลา, 2553) โดยประสิทธิภาพในการเคลื่อนย้ายโลหะนั้นจะพิจารณาจากค่า bioconcentration factor (BCF) และค่า translocation factor (TF) ซึ่งคำนวณจากสูตร

$$BCF = \frac{\text{Total conc. of Pb in plant}}{\text{Total conc. of Pb in soil}}$$

$$TF = \frac{\text{Total conc. of Pb in shoot}}{\text{Total conc. of Pb in root}}$$

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

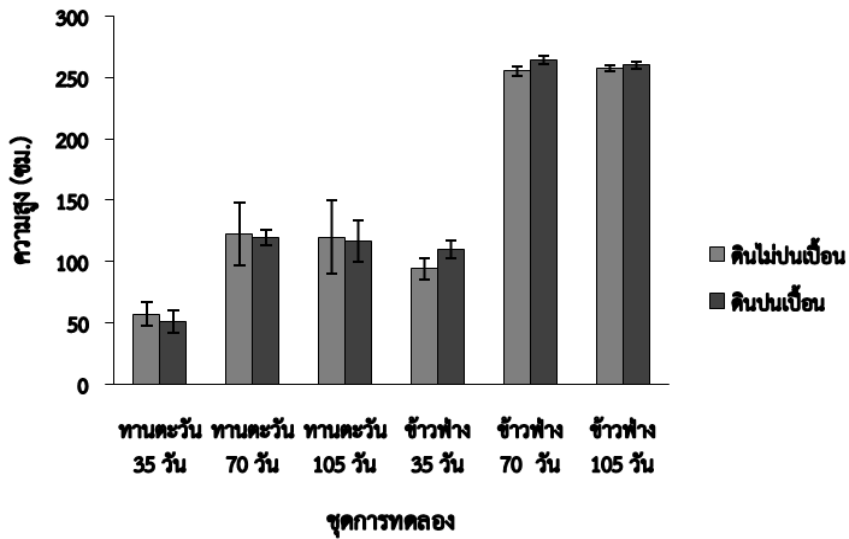
ผลการทดลองที่ได้จะนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธี analysis of variance (ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($P < 0.05$) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของชุดการทดลองด้วยวิธี *t*-student test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($P < 0.05$) และ Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($P < 0.05$)

ผลการวิจัย

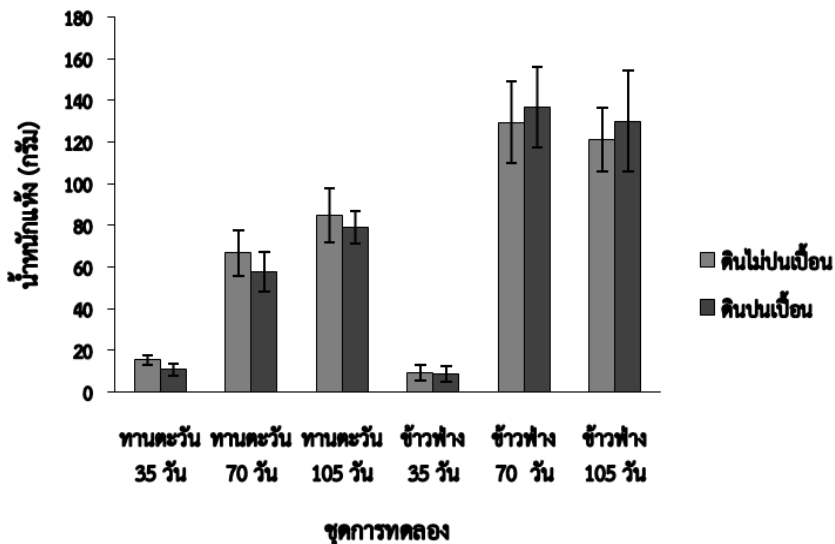
การเจริญเติบโตของทานตะวันและข้าวฟ่าง

การวิเคราะห์การเจริญเติบโตของทานตะวันและข้าวฟ่างเป็นการเปรียบเทียบโดยใช้ความสูงและน้ำหนักแห้งของพืชทั้งสองชนิดที่ปลูกในดินที่มีการปนเปื้อนและไม่ปนเปื้อนตะกั่ว จากนั้นทำการเก็บเกี่ยวเพื่อวิเคราะห์ความสูงและน้ำหนักแห้งที่ระยะเวลาต่างๆ คือ 35 70 และ 105 วัน ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 1 และ 2 จากการทดลองพบว่า ความสูงของทานตะวันและข้าวฟ่างที่ปลูกในดินที่ไม่มีการปนเปื้อนตะกั่วไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับทานตะวันและข้าวฟ่างที่ปลูกในดินที่มีการปนเปื้อนตะกั่ว ($P > 0.05$) ทานตะวันที่ปลูกในดินไม่ปนเปื้อนตะกั่วที่ระยะ 70 วันมีความสูงมากที่สุด (122.4 ± 25.84 ซม.) ขณะที่ทานตะวันที่ปลูกในดินที่มีการปนเปื้อนตะกั่วที่ระยะเดียวกันมีความสูงต่างกันเล็กน้อย (119.3 ± 5.85 ซม.) และทานตะวันที่ระยะ 35 วัน ซึ่งปลูกในดินที่มีการปนเปื้อนตะกั่วมี

ความสูงน้อยที่สุด (51.0 ± 9.37 ซม.) ส่วนข้าวฟ่างที่ปลูกในดินที่มีการปนเปื้อนตะกั่วที่ระยะ 70 วัน มีความสูงมากที่สุด (264.4 ± 3.64 ซม.) และที่ระยะเดียวกันของข้าวฟ่างที่ปลูกในดินที่ไม่มีการปนเปื้อนของตะกั่ว ข้าวฟ่างมีความสูง 255.2 ± 4.21 ซม. ในขณะที่ข้าวฟ่างที่ระยะ 35 วัน ซึ่งปลูกในดินที่ไม่ปนเปื้อนตะกั่วมีความสูงน้อยที่สุด (94.4 ± 9.34 ซม.) (รูปที่ 1) ด้านน้ำหนักแห้งของทานตะวันและข้าวฟ่างซึ่งปลูกในดินที่มีการปนเปื้อนและไม่ปนเปื้อนตะกั่วที่ระยะต่าง ๆ คือ 35 70 และ 105 วัน พบว่าทานตะวันที่ปลูกในดินที่ไม่มีการปนเปื้อนตะกั่วที่ระยะ 105 วัน มีน้ำหนักแห้งสูงสุด (84.6 ± 12.9 กรัม) ขณะที่ทานตะวันที่ปลูกในดินปนเปื้อนตะกั่วที่ระยะเดียวกันมีน้ำหนักแห้ง 78.8 ± 7.8 กรัม ส่วนข้าวฟ่างที่ปลูกในดินปนเปื้อนตะกั่วที่ระยะ 70 วัน มีน้ำหนักแห้งสูงสุด (136.8 ± 19.4 กรัม) ขณะที่ข้าวฟ่างที่ปลูกในดินไม่ปนเปื้อนตะกั่วที่ระยะเดียวกันมีน้ำหนักแห้งน้อยกว่าเล็กน้อย (129.4 ± 19.7 กรัม) ซึ่งทั้งข้าวฟ่างและทานตะวันที่อยู่ในช่วงระยะ 70-105 วัน มีการสะสมน้ำหนักแห้งที่ไม่แตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$) ขณะที่ทานตะวันอายุ 35 วัน ที่ปลูกในดินไม่มีการปนเปื้อนตะกั่ว (15.4 ± 2.4 กรัม) มีการสะสมน้ำหนักแห้งแตกต่างจากทานตะวันที่ปลูกในดินปนเปื้อนตะกั่ว (10.7 ± 3.1 กรัม) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ส่วนข้าวฟ่างที่อายุ 35 วัน มีการสะสมน้ำหนักแห้งที่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) (รูปที่ 2)



รูปที่ 1 ความสูงของทานตะวันและข้าวฟ่างที่ปลูกในดินปนเปื้อนและไม่ปนเปื้อนตะกั่ว



รูปที่ 2 น้ำหนักแห้งของทานตะวันและข้าวฟ่างที่ปลูกในดินปนเปื้อนและไม่ปนเปื้อนตะกั่ว

ปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วในดินและในส่วนต่าง ๆ ของทานตะวันและข้าวฟ่าง

ปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วในดินและในส่วนต่าง ๆ ของทานตะวันและข้าวฟ่าง (ตารางที่ 2) นั้นพบว่าทานตะวันและข้าวฟ่างที่ปลูกในดินปนเปื้อนตะกั่วมี ปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วสูงสุดที่ระยะ 105 วัน โดยทานตะวันมีความเข้มข้นของตะกั่วสูงสุด 137.79 ± 20.14 มก./กก. และข้าวฟ่างมีปริมาณความ

เข้มข้นของตะกั่วสูงสุด 80.73 ± 12.52 มก./กก. ส่วนทานตะวันและข้าวฟ่างที่ปลูกในดินไม่ปนเปื้อนตะกั่วพบว่าปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วสูงสุดที่ระยะ 105 วัน เช่นกัน ปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วในราก และปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วในลำต้นและใบ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วในรากของพืชทั้งสองชนิดพบว่า ทานตะวันที่ปลูกในดินปนเปื้อนตะกั่วที่

ระยะ 105 วัน มีความเข้มข้นของตะกั่วในรากสูงสุด (122.27 ± 18.74 มก./กก.) รองลงมาคือระยะ 70 วัน และที่ระยะ 35 วัน ตามลำดับ ขณะที่ทานตะวันที่ปลูกในดินไม่ปนเปื้อนตะกั่วมีปริมาณความเข้มข้นตะกั่วสูงสุดที่ระยะ 105 วัน เช่นเดียวกัน (5.58 ± 0.28 มก./กก.) ส่วนความเข้มข้นของตะกั่วในรากข้าวฟ่างพบว่าข้าวฟ่างที่ระยะ 105 วัน มีความเข้มข้นของตะกั่วในรากสูงสุด (72.53 ± 9.13 มก./กก.) รองลงมาคือระยะ 70 วัน และ 35 วัน ตามลำดับ ส่วนปริมาณความเข้มข้นตะกั่วในรากข้าวฟ่างที่ปลูกในดินไม่ปนเปื้อนตะกั่วมีความเข้มข้นของตะกั่วสูงสุดที่ระยะ 105 วัน เช่นกัน (4.03 ± 1.86 มก./กก.) และเมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของตะกั่วในรากทานตะวันและรากข้าวฟ่างทั้งประเภทที่ปลูกในดินปนเปื้อนและไม่ปนเปื้อนตะกั่ว พบว่าทานตะวันที่ปลูกในดินปนเปื้อนตะกั่วที่ระยะ 105 วัน มีความเข้มข้นของตะกั่วสูงสุด ส่วนความเข้มข้นของตะกั่วในรากทานตะวันและข้าวฟ่างที่ปลูกในดินไม่ปนเปื้อนตะกั่วมีปริมาณใกล้เคียงกัน ในด้านความเข้มข้นของตะกั่วในลำต้นและใบของพืชทั้งสองชนิดพบว่า ทานตะวันที่ปลูกในดินปนเปื้อนตะกั่วที่ระยะ 105 วัน มีความเข้มข้นของตะกั่วในลำต้นและใบสูงสุด (12.68 ± 1.28 มก./กก.) รองลงมาคือที่ระยะ 35 วัน และที่ระยะ 70 วัน ตามลำดับ ส่วนทานตะวันที่ปลูกในดินไม่ปนเปื้อนตะกั่วมีปริมาณความเข้มข้นตะกั่วในลำต้นและใบสูงสุดที่ระยะ 105 วัน (2.95 ± 1.38 มก./กก.) ด้านความเข้มข้นของตะกั่วในลำต้นและใบข้าวฟ่างที่ปลูกในดินปนเปื้อนตะกั่ว พบว่าข้าวฟ่างทั้งสามระยะมีปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วใกล้เคียงกัน ในขณะที่ข้าวฟ่างที่ปลูกในดินไม่ปนเปื้อนตะกั่วกลับมีปริมาณความเข้มข้นตะกั่วในลำต้นและใบสูงสุดที่ระยะ 70 วัน (1.44 ± 1.54 มก./กก.) และเมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของตะกั่วในลำต้นและใบของ

ทานตะวันและข้าวฟ่างทั้งประเภทที่ปลูกในดินปนเปื้อนและไม่ปนเปื้อนตะกั่วร่วมกัน พบว่าทานตะวันที่ระยะ 105 วัน มีความเข้มข้นของตะกั่วในลำต้นและใบสูงสุด ส่วนปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วในดอก เปลือกและเมล็ด ของทั้งทานตะวันและข้าวฟ่าง พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่ปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วในเมล็ดนั้นมีความสูงเกินมาตรฐานที่ยอมรับได้เพื่อการบริโภคเป็นอาหารมนุษย์ (0.2 มก./กก. น้ำหนักแห้ง) (Chen et al., 2011) โดยทานตะวันมีความเข้มข้นของตะกั่วในเมล็ดสูงถึง 0.87 ± 0.67 มก./กก. ส่วนข้าวฟ่างมีค่าสูงถึง 0.78 ± 0.75 มก./กก. ในด้านปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วในดินหลังปลูกพบว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยดินในชุดควบคุมซึ่งเป็นดินปนเปื้อนตะกั่วแต่ไม่มีการปลูกพืช มีปริมาณความเข้มข้นตะกั่วตกค้างสูงสุด (1417.9 ± 24.7 มก./กก.)

เปรียบเทียบประสิทธิภาพของกระบวนการเคลื่อนย้ายตะกั่วสู่พืชของทานตะวันและข้าวฟ่าง

การศึกษาประสิทธิภาพของกระบวนการเคลื่อนย้ายตะกั่วสู่พืช จะพิจารณาจากค่า bioconcentration factor (BCF) และ translocation factor (TF) ของทานตะวันและข้าวฟ่างที่ระยะต่าง ๆ ทั้งสามระยะ (ตารางที่ 3) จากการทดลองพบว่าค่า BCF ของทานตะวันและข้าวฟ่างในแต่ละช่วงอายุ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) ในขณะที่ค่า TF ของทั้งทานตะวันและข้าวฟ่างที่ระยะต่าง ๆ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) ทานตะวันที่ระยะ 105 วัน มีค่า BCF สูงที่สุด (0.10 ± 0.01) และข้าวฟ่างที่ระยะ 35 วัน มีค่า BCF ต่ำสุด (0.03 ± 0.01) ส่วนค่า TF ของทานตะวันและข้าวฟ่างมีแนวโน้มในทางเดียวกันคือ มีค่าสูงสุดที่ระยะ 35 วัน โดยมีค่า 0.23 ± 0.05 และ 0.15 ± 0.07 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ความเข้มข้นของตะกั่วในส่วนต่าง ๆ ของทานตะวันและข้าวฟ่างที่ปลูกในดินที่มีการปนเปื้อนและไม่ปนเปื้อนตะกั่ว

| ชุดการทดลอง | ระยะเวลา (วัน) | ความเข้มข้นของตะกั่วในส่วนต่าง ๆ ของพืชและดิน (มก./กก. น้ำหนักแห้ง) [†] | | | | | | |
|--|-------------------|--|--------------------------|-----------|-----------|-----------|---------------------------|---------------------------|
| | | ราก | ลำต้นและใบ | ดอก | เปลือก | เมล็ด | รวม | ดิน |
| ควบคุม | - | - | - | - | - | - | - | 1417.9±24.7 ^a |
| ทานตะวัน (ปลูกในดินปนเปื้อนตะกั่ว) | 35 | 48.26±12.47 ^c | 10.72±0.38 ^{ab} | - | - | - | 58.99±12.35 ^c | 1331.5±14.3 ^c |
| | 70 | 79.64±19.28 ^b | 8.39±2.03 ^{bc} | 1.50±1.55 | - | - | 89.51±21.22 ^b | 1350.2±38.0 ^{bc} |
| | 105 | 122.27±18.74 ^a | 12.68±1.28 ^a | - | 2.03±0.67 | 0.87±0.67 | 137.79±20.14 ^a | 1399.1±59.1 ^{ab} |
| ข้าวฟ่าง (ปลูกในดินปนเปื้อนตะกั่ว) | 35 | 36.18±9.62 ^c | 5.08±1.58 ^d | - | - | - | 41.26±9.81 ^c | 1353.3±61.8 ^{bc} |
| | 70 | 48.57±6.91 ^c | 5.65±3.74 ^c | 1.04±0.10 | - | - | 55.28±9.71 ^c | 1307.6±24.3 ^c |
| | 105 | 72.53±9.13 ^b | 5.34±2.22 ^c | - | 2.06±1.79 | 0.78±0.78 | 80.73±12.52 ^b | 1401.5±26.4 ^{ab} |
| ทานตะวัน (ปลูกในดินไม่ปนเปื้อนตะกั่ว) | 35 | 1.97±0.75 ^d | 0.46±0.60 ^e | - | - | - | 2.43±0.92 ^d | 25.81±4.37 ^d |
| | 70 | 3.09±1.07 ^d | 0.39±0.68 ^e | 0.27±0.40 | - | - | 3.50±0.89 ^d | 27.20±1.87 ^d |
| | 105 | 5.58±0.82 ^d | 2.95±1.38 ^{bc} | - | 0.93±0.88 | 0.09±0.02 | 9.61±1.68 ^d | 25.46±2.44 ^d |
| ข้าวฟ่าง (ปลูกในดินไม่ปนเปื้อนตะกั่ว) | 35 | 3.50±1.16 ^d | 0.59±0.68 ^e | - | - | - | 4.09±0.68 ^d | 28.37±1.28 ^d |
| | 70 | 2.62±1.31 ^d | 1.44±1.54 ^c | 0.21±0.18 | - | - | 4.07±2.85 ^d | 24.64±4.03 ^d |
| | 105 | 4.03±1.68 ^d | 1.34±2.33 ^c | - | 0.35±0.61 | 0.01±0.02 | 5.75±4.54 ^d | 26.96±5.09 ^d |
| ANOVA (F-test) | | ** | ** | ns | ns | ns | ** | ** |

หมายเหตุ: ** ค่าเฉลี่ยแต่ละชุดการทดลองมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ในคอลัมน์ (a มากกว่า b c และ d), ns ค่าเฉลี่ยแต่ละชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) โดยเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT, [†] ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 5 ซ้ำ และค่า standard deviation (S.D.)

วิจารณ์ผลการวิจัย

ในการศึกษาการเจริญเติบโตของทานตะวันและข้าวฟ่างที่ปลูกในดินที่มีการปนเปื้อนและไม่ปนเปื้อนตะกั่ว สามารถกล่าวได้ว่าปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วในดินที่ใช้ในการศึกษาไม่มีผลต่อความสูงและน้ำหนักแห้งของทั้งทานตะวันและข้าวฟ่างสอดคล้องกับ Panich-pat and Srinives (2009) ซึ่งศึกษาการสะสมของตะกั่วในส่วนต่าง ๆ ของข้าว พบว่าความเข้มข้นของตะกั่วตั้งแต่ 0-3,000 มก./กก. ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตทางกายภาพของข้าว ซึ่งความเข้มข้นของตะกั่วที่ใช้ในการศึกษานี้ (1,419.15 มก./กก.) ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตทางกายภาพของทานตะวันและข้าวฟ่าง โดยปกติแล้วน้ำหนักแห้งของพืชจะลดลงเมื่อปริมาณความเข้มข้นโลหะในดินที่ปลูก

เพิ่มขึ้น (Nui et al., 2006) ซึ่งจะส่งผลต่อการประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงและกระบวนการเมแทบอลิซึมในเซลล์พืช (Vamerali et al. 2010) Murillo et al. (1999) ศึกษาการสะสมโลหะหนักในทานตะวันและข้าวฟ่างที่ปลูกในพื้นที่ปนเปื้อนโลหะหนัก เนื่องจากการรั่วไหลของน้ำเสียจากการทำเหมืองแร่ พบว่า ข้าวฟ่างและทานตะวันที่ปลูกในบริเวณที่มีการปนเปื้อนโลหะสามารถเจริญเติบโตได้ดีไม่ต่างจากข้าวฟ่างและทานตะวันที่ปลูกในดินที่ไม่มีการปนเปื้อนโลหะ เช่นเดียวกับ Panich-pat et al. (2010) ได้ศึกษากระบวนการ phytoextraction ของรู่ฤกษ์ในดินและน้ำที่มีการปนเปื้อนของแคดเมียมและตะกั่ว พบว่ารู่ฤกษ์สามารถเจริญเติบโตได้ดีในดินและน้ำที่ปนเปื้อนแคดเมียมและตะกั่วไม่แตกต่างจากดินและน้ำที่ไม่ได้ปนเปื้อนแคดเมียมและตะกั่ว

ตารางที่ 3 ค่า BCF และ TF ของทานตะวันและข้าวฟ่าง ที่ปลูกในดินที่มีการปนเปื้อนตะกั่ว

| ชุดการทดลอง/ปัจจัยที่ศึกษา | BCF [†] | TF [†] |
|----------------------------|--------------------------|-----------------|
| ทานตะวัน 35 วัน | 0.04±0.01 ^{cd} | 0.23±0.05 |
| ทานตะวัน 70 วัน | 0.06±0.01 ^b | 0.13±0.02 |
| ทานตะวัน 105 วัน | 0.10±0.01 ^a | 0.17±0.03 |
| ข้าวฟ่าง 35 วัน | 0.03±0.01 ^d | 0.15±0.07 |
| ข้าวฟ่าง 70 วัน | 0.04±0.01 ^{bcd} | 0.13±0.04 |
| ข้าวฟ่าง 105 วัน | 0.06±0.02 ^{bc} | 0.11±0.06 |
| ANOVA (F-test) | ** | ns |

หมายเหตุ: ** ค่าเฉลี่ยแต่ละชุดการทดลองมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ในคอลัมน์ (a มากกว่า b c และ d), ns ค่าเฉลี่ยแต่ละชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) โดยเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT, [†] ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 5 ซ้ำ และค่า standard deviation (S.D.)

จากการศึกษาปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักในส่วนต่าง ๆ ของพืชทั่วไปพบว่า ปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักส่วนใหญ่จะอยู่บริเวณราก (Yoon et al., 2006; Marchiol et al., 2007) และมีการเคลื่อนย้ายขึ้นมาสะสมในส่วนต่าง ๆ ของพืชได้ในปริมาณไม่มากนัก สอดคล้องกับ Panich-pat et al. (2004) และ Panich-pat and Srinives (2009) ได้ศึกษาการบำบัดตะกั่วจากดินที่มีการปนเปื้อนโดยใช้ธูปฤๅษี และพบว่าธูปฤๅษีมีความสามารถในการสะสมตะกั่วในรากได้ในปริมาณความเข้มข้นสูง และการสะสมตะกั่วในรากจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วในดิน จากการศึกษาของ Panich-pat and Srinives (2009) รายงานว่าที่ความเข้มข้น 3,000 มก./ล. ข้าวสามารถดูดซับตะกั่วไว้ในรากได้ถึง 400 มก./กก. เคลื่อนย้ายมาสะสมในเปลือกได้เพียง 0.2 มก./กก. และไม่พบการสะสมตะกั่วในข้าวขาว (white rice) ซึ่งปกติความเข้มข้นของตะกั่วในพืชควรมีค่าอยู่ระหว่าง 100-500 มก./กก. (Pendias and Pandias, 1992) Murillo et al. (1999) ทำการศึกษาการสะสมโลหะหนักในทานตะวันและข้าวฟ่างที่ปลูกในพื้นที่ปนเปื้อนโลหะหนัก เนื่องจากการรั่วไหลของน้ำเสียจากการทำเหมืองแร่พบว่า ในทานตะวันจะมีปริมาณความ

เข้มข้นของตะกั่วในใบสูงที่สุด รองลงมาคือ ราก ก้านใบ ลำต้น และเมล็ด ตามลำดับ ส่วนในข้าวฟ่างจะมีปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วสูงที่สุดในราก รองลงมาคือ ใบ และลำต้น Zhuang et al. (2009) พบว่า หากมีการใช้ EDTA ร่วมด้วยจะสามารถช่วยเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วในข้าวฟ่างได้เป็นสองเท่า และเมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของตะกั่วในทานตะวันและข้าวฟ่างที่ระยะต่าง ๆ ทั้งสามระยะ ทั้งทานตะวันและข้าวฟ่างจะมีความเข้มข้นของตะกั่วสูงที่สุดที่ระยะ 105 วัน และความเข้มข้นของตะกั่วจะมีค่าต่ำสุดที่ระยะ 35 วัน ซึ่งแตกต่างจากการศึกษาของ Adesodun et al. (2010) ที่ทำการศึกษาประสิทธิภาพของทานตะวันเพื่อใช้ในกระบวนการ phytoremediation ในดินที่มีการปนเปื้อนสังกะสีและตะกั่ว พบว่าทานตะวันที่ระยะ 4 สัปดาห์มีความเข้มข้นตะกั่วสูงกว่าที่ระยะ 8 สัปดาห์ และในรากมีความเข้มข้นของตะกั่วสูงที่สุด รองลงมาคือในลำต้น และในใบ จากการทดลองการเปรียบเทียบการเจริญเติบโตและการสะสมตะกั่วของทานตะวันและข้าวฟ่างในดินที่ปนเปื้อนตะกั่วพบว่า ในส่วนของการสะสมตะกั่วในเมล็ดของทานตะวันและข้าวฟ่าง พืชทั้งสองชนิดมีการสะสมปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วเกินค่า

มาตรฐานที่จะนำมาใช้เป็นอาหารมนุษย์ ซึ่งความเข้มข้นของตะกั่วในเมล็ดธัญพืชสำหรับใช้บริโภคเป็นอาหารมนุษย์กำหนดไว้ไม่เกิน 0.2 มก./กก. (น้ำหนักแห้ง) (Chen et al., 2011) ส่วนค่าที่ยอมรับได้สำหรับใช้เป็นอาหารสำหรับเลี้ยงสัตว์คือไม่เกิน 30 มก./กก. (น้ำหนักแห้ง) (Chaney, 1989)

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพของกระบวนการเคลื่อนย้ายตะกั่วสู่พืช สำหรับพืชที่จัดว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัดโลหะที่ปนเปื้อนในดิน จะต้องมีการเคลื่อนย้ายโลหะเพื่อมาสะสมในส่วนเหนือดิน (shoot) ไม่ต่ำกว่า 1,000 มก./กก. ส่วนค่า BCF จะบ่งบอกว่าพืชที่สนใจในการนำมาใช้สำหรับเป็นพืชบำบัดนั้น มีความสามารถในการเคลื่อนย้ายโลหะชนิดนั้น ๆ มาสะสมในเนื้อเยื่อพืชได้มากแค่ไหน และค่า TF เป็นค่าที่บ่งบอกถึงการเคลื่อนย้ายโลหะจากรากขึ้นมายังส่วนเหนือดิน ซึ่งง่ายต่อการเก็บเกี่ยวเพื่อนำไปกำจัดหรือใช้ประโยชน์ในด้านอื่น ๆ ต่อไป โดยพืชชนิดนั้น ๆ ควรมีค่า BCF และ TF มากกว่า 1 จึงจัดว่าเป็นพืชที่สามารถนำมาใช้ในการบำบัดพื้นที่ปนเปื้อนได้ (อลิสสา, 2553) จากค่า BCF และ TF ที่ได้จากการทดลองมีค่าน้อยกว่า 1 จึงกล่าวได้ว่าพืชทั้งสองชนิดมีประสิทธิภาพในการเคลื่อนย้ายตะกั่วที่ปนเปื้อนในดินมาสะสมในส่วนต่าง ๆ ของพืชต่ำกว่า 1 จึงไม่เหมาะสมที่จะเลือกใช้ในการบำบัดพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนตะกั่วปริมาณความเข้มข้นสูง สอดคล้องกับ Zhao et al. (2011) ได้ศึกษาการสะสมและการกระจายของแคดเมียมและตะกั่วในข้าวสาลีที่ปลูกในดินที่ปนเปื้อน พบว่าข้าวสาลีที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียมและตะกั่วมีค่า BCF และ TF น้อยกว่า 1

สรุปผลการวิจัย

ปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วในทานตะวันและข้าวฟ่างจะมีปริมาณความเข้มข้นสูงสุดในราก

ทานตะวันมีความเข้มข้นของตะกั่วในการสะสมในเมล็ดได้สูงกว่าข้าวฟ่างเล็กน้อย ปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วจะเพิ่มสูงขึ้นตามช่วงอายุของพืช โดยในระยะที่พืชมีการเจริญเติบโตทางลำต้นจะมีปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วที่น้อยกว่าในช่วงระยะเจริญพันธุ์ถึงระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยา และในระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นจะมีประสิทธิภาพในการเคลื่อนย้ายตะกั่วจากดินมาสะสมในส่วนต่าง ๆ ได้ต่ำกว่าระยะเจริญพันธุ์ถึงระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยา ในขณะที่การเคลื่อนย้ายตะกั่วจากรากมายังส่วนเหนือดินของระยะต่าง ๆ ทั้งสามระยะมีค่าไม่ต่างกัน ซึ่งตะกั่วที่นั้นไม่มีผลกระทบต่อ การเจริญเติบโตของทั้งทานตะวันและข้าวฟ่าง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์ส่งเสริมการวิจัยและถ่ายทอดเทคโนโลยี (ศสวท.) คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ และบัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์ ที่สนับสนุนทุนในการวิจัย ขอขอบคุณ ศาสตราจารย์ ดร. พิระศักดิ์ ศรีนิเวศน์ และ ดร.ลักขณา กันทะมา ที่ให้คำปรึกษาในการวิเคราะห์ข้อมูล

เอกสารอ้างอิง

- สำนักจัดการคุณภาพน้ำ. (2552). สถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อมในห้วยคลิตี้. ใน: รายงานประจำปีสำนักจัดการคุณภาพน้ำ 2552. กรมควบคุมมลพิษ, กรุงเทพฯ ๖. 54-65
- อลิสสา วั่งโน. (2553). การบำบัดสารมลพิษทางชีวภาพ. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ. หน้า 243-254
- Adesodun, J.K., Atayese, M.O., Agbaje, T.A., Osadiaye, B.A., Mafe, O.F. and Soretire. A.A. (2010). Phytoremediation potential of sunflower (*Tithonia diversifolia* and *Helianthus annuus*) for metal in soil contaminated with

- zing and lead nitrates. *Water. Air. Soil. Poll.* 207: 195-201.
- Anonymous. (1970). Lab procedures. Soil testing and plant analysis laboratory. Co-operative Extension Service. Athens: GA.
- Amacher, C.M. (1996). Nickel, cadmium and lead, *In* D.L. Sparks, (eds.). *Methods of Soil Analysis, Chemical Methods Part 3-SSSA Book Series no.5. Soil Sci. Am. Amer. Soc. of Agron.* Madison: Wis. pp. 739-768.
- Chaney, R.L. (1989). Toxic element accumulation in soils and crops: protecting soil fertility and agricultural food-chains. *In* Bar-Yosef B. (eds.). *Inorganic Contaminants in the Vadose Zone.* Berlin: Springer-Verlag. pp. 140-185.
- Chen, Z.F., Zhao, Y., Zhu, Y.E., Yang, X., Qiao, J.J., Tian, Q. and Qing, Z. (2011). Health risks of heavy metals in sewage-irrigated soils and edible seeds in Langfang of Hebei province, China. *J. Sci. Food. Agric.* 90: 314-320.
- Gee, G.W. and Bauder J.W. (1986). Particle-size analysis *In* A. Klute (ed.). *Methods of Soil Analysis, Part 1 Physical and Mineralogical Methods.* Soil Sci. Am. J., Madison: Wis. pp. 383-412.
- Helmke, P.A. and Sparks, D.L. (1996). Lithium, sodium, potassium, rubidium and cesium. *In* D.L. Sparks, (eds.). *Methods of Soil Analysis, Chemical Methods Part 3-SSSA Book Series no.5. Soil Sci. Am. Amer. Soc. of Agron.* Madison: Wis. pp. 551-574.
- Kou, S. (1996). Phosphorus. *In* D.L. Sparks, (eds.). *Methods of Soil Analysis, Chemical Methods Part 3-SSSA Book Series no.5. Soil Sci. Am. Amer. Soc. of Agron.* Madison: Wis. pp. 739-768.
- Marchiol, L., Fellet, G., Perosa, D. and Zerbi, G. (2007). Removal of trace metals by *Sorghum bicolor* and *Helianthus annuus* in a site polluted by industrial wastes: A field experience. *Plant. Physiol. Bioch.* 45: 379-387.
- Mudgal, V., Madaan, N. and Mudgal, A. (2010). Heavy metals in plants: phytoremediation: plants used to remediate heavy metal pollution. *Agric. Biol. J. N. Am.* 1: 40-46.
- Murillo, J.M., Maranon, T., Cabrera, F. and Lopez, R. (1999). Accumulation of heavy metals in sunflower and sorghum plants affected by the Guadimar spill. *Sci. Total. Environ.* 242: 281-292.
- Nelson, D.W. and Sommers, L.E. (1996). Total carbon, organic carbon and organic matter. *In* D.L. Sparks, (eds.). *Methods of Soil Analysis, Chemical Methods Part 3-SSSA Book Series no.5. Soil Sci. Am. Amer. Soc. of Agron.* Madison: Wis. pp. 961-1010.
- Nui, Z.X., Sun, L.N., Sun, T.H., Shuang, L.Y. and Wang, H. (2007). Evaluation of phytoextracting cadmium and lead by sunflower, ricinus, alfalfa and mustard in hydroponic culture. *J. Environ. Sci.* 19: 961-967.
- Panich-Pat, T., Pokethitiyook, P., Kruatrachue, M., Upatham, E.S., Srinives, P. and Lanza, G.R. (2004). Removal of lead from contaminated soil by *Typha angustifolia*. *Water. Air. Soil. Poll.* 155: 159-171.
- Panich-Pat, T. and Srinives, P. (2009). Partitioning of lead accumulation in rice plant. *Thai. J. Agric. Sci.* 42(1): 35-40.
- Panich-Pat, T., Upatham, S., Pokethitiyook, P., Kruatrachue, M. and Lanza, G.R. (2010). Phytoextraction of metal contaminants by *Typha angustifolia*: interaction of lead and cadmium in soil-water microcosms. *J. Environ. Protect.* 1: 431-437.

- Pendias, K.A. and Pandias, H. (1992). Lead *In* Trace Element in Soil and Plant 2 . Boca Raton: CRC Press. pp. 187-197.
- Rhoades, J.D. (1996). Salinity: electrical conductivity and total dissolved solids. *In* D.L. Sparks, (eds.). Methods of Soil Analysis, Chemical Methods, Part 3-SSSA Book Series no.5. Soil Sci. Am. Amer. Soc. of Agron. Madison: Wis. pp. 417-435.
- Sumner, M.C. and Miller, W.P. (1996). Cation exchange capacity and exchange coefficients. *In* D.L. Sparks, (eds.). Methods of Soil Analysis, Chemical Methods Part 3-SSSA Book Series no.5. Soil Sci. Am. Amer. Soc. of Agron. Madison: Wis. pp. 739-768.
- Thomas, G.W. (1996). Soil pH and soil acidity. *In* D.L. Sparks, (eds.). Methods of Soil Analysis, Chemical Methods Part 3-SSSA Book Series no.5. Soil Sci. Am. Amer. Soc. of Agron. Madison: Wis. pp. 475-490.
- Vamerali, T., Bandiera, M. and Mosca, G. (2010). Field crops for phytoremediation of metal contaminated land: A review. *Environ. Chem. Lett.* 8: 1-17.
- Yoon, X.J., Zhou, C.Q. and Ma, L.Q. (2006). Accumulation of Pb, Cu and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site. *Sci. Total. Environ.* 368: 456-464.
- Zhao, W.W., Nan, Z.R., Wang, S.L. and Zhao, Z.J. (2011). Accumulation and distribution of cadmium and lead in wheat (*Triticum aestivum* L.) grown in contaminated soils from the oasis, north-west China. *J. Sci. Food. Agric.* 91: 377-384.
- Zhuang, P., Shu, W., Li, Z., Liao, B., Li, J. and Shao, J. (2009). Removal of metals by sorghum plants from contaminated land. *J. Environ. Sci.* 21: 1432-1437.

