การดูดดึงแคดเมียมโดยอ้อยที่ปลูกในดินที่ปนเปื้อน

Cadmium Uptake by Sugarcane Grown in Contaminated Soil

วราภรณ์ ศรีตัมภวา (Waraporn Sritumpawa)* ดร. พันธวัศ สัมพันธ์พานิช (Dr. Pantawat Sampanpanish)**

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาความสามารถในการใช้อ้อยดูดดึงแคดเมียมออกจากดิน ที่ปลูกในเรือนทดลอง มีการวางแผนการทดลองแบบ Factorial in Randomized Complete Block design ทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ ประกอบด้วย 2 ปัจจัยคือ ปริมาณการใส่สารประกอบแคดเมียมไนเตรท ($Cd(NO_3)_2.4H_2O$) ลงในดินที่ไม่มีการปนเปื้อนที่ระดับความเข้มข้น 0 10 20 และ 40 มิลลิกรัมแคดเมียมต่อกิโลกรัมดิน (น้ำหนักแห้ง) และเก็บตัวอย่างที่ระยะเวลา 3 และ 6 เดือน หลังการเก็บเกี่ยวทำการวิเคราะห์ปริมาณการสะสมแคดเมียมในส่วนต่าง ๆ ของอ้อย 5 ส่วน คือ ราก ท่อนพันธุ์เดิม ชานอ้อย น้ำอ้อย และใบ ผลการศึกษาพบว่า ความสามารถในการดูดดึงแคดเมียมในดินของอ้อยที่ปลูกในเรือนทดลองที่ความเข้มข้น 40 มิลลิกรัมแคดเมียมต่อกิโลกรัมดิน เท่ากับ 38.96 และ 31.64 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ที่ระยะเวลา 3 และ 6 เดือน ตามลำดับ สำหรับการสะสมแคดเมียมในส่วนต่าง ๆ ของอ้อย พบว่า มีการสะสมแคดเมียมไว้ในส่วนรากมากที่สุดเท่ากับ 96.56 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งมากกว่าท่อนพันธุ์เดิม ชานอ้อย ใบ และน้ำอ้อย ที่ระยะการเก็บเกี่ยว 6 เดือน

ABSTRACT

This research was to study the capacity of cadmium removal from soil by sugarcane grown in pot experiment. The experiments were designed in a Factorial Randomized Complete Block Design with three replicates. The amounts of cadmium nitrate ($Cd(NO_3)_2.4H_2O$) added to the pot experiments were 0, 10, 20 and 40 mg Cd kg^{-1} soil (dry weight). Sugarcane samples were harvested after two growth periods, three and six months. After harvesting, the canes were botanically separated into five parts: root, underground stem, bagasse, juice, and leave. The results showed that Cd uptake capacity from soil on experimental pot was 38.96 and 31.64 mg kg^{-1} in treatment of 40 mg Cd kg^{-1}, at three and six months, respectively. Accumulation of cadmium in various parts of sugarcane of experimental pot was the most accumulate in roots was 96.56 mg kg^{-1} following by underground stem, bagasse, leaves and juice, at the sixth month.

คำสำคัญ : การดูดดึง แคดเมียม อ้อย

Key Words : Uptake, Cadmium, Sugarcane

---

* *นักศึกษาหลักสูตรสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย*

** *อาจารย์สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย*

บทนำ

ปัจจุบันปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นของประเทศอยู่ในภาวะวิกฤต ที่อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยและสิ่งมีชีวิต โดยเฉพาะการปนเปื้อนของเสียอันตรายหรือโลหะหนักในดินและแหล่งน้ำ เป็นต้น ซึ่งปัญหาดังกล่าวมักเกิดจากการทำกิจกรรมต่าง ๆ อาทิ กิจกรรมการทำเหมือง และกิจกรรมทางการเกษตรที่มีการเปิดหน้าดินเพื่อการเพาะปลูก ทำให้โลหะหนักมีการแพร่ กระจายสู่น้ำผิวดิน น้ำใต้ดิน และถูกสะสมในดิน รวมถึงสภาพธรรมชาติทางธรณีวิทยา ก็เป็นสาเหตุที่สำคัญของการปนเปื้อนโลหะหนัก โดยเกิดจากกระบวนการผุพังสลายตัวตามธรรมชาติของพื้นที่

จากการสำรวจ พบปริมาณแคดเมียมปนเปื้อนในดินนาข้าว และเมล็ดข้าวที่ตำบลพระธาตุผาแดง ตำบลแม่กุ และตำบลแม่ตาว อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก พบว่าอยู่ในระดับสูง ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน ที่บริโภคข้าวที่ปลูกในพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนของแคดเมียม จากภาวะปัญหาการขาดแคลนพลังงานเชื้อเพลิงในปัจจุบันของประเทศ จึงได้มีการศึกษาการใช้อ้อย เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเป็นเอทานอล ที่ใช้เป็นพลังงานทดแทน และช่วยดูดดึงแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินได้ และด้วยคุณสมบัติของอ้อยที่เป็นพืชที่ง่ายต่อการปลูกและการดูแลรักษา มีความทนทาน และขยายพันธุ์ได้ดี อีกทั้งเป็นพืชเศรษฐกิจที่ให้ผลตอบแทนเชิงพาณิชย์สูง จึงเป็นเป้าหมายหลักของการปลูกอ้อยเพื่อเป็นพลังงานทดแทน ที่จะสามารถช่วยฟื้นฟูพื้นที่ที่ปนเปื้อนแคดเมียมได้ไม่มากก็น้อย และเป็นอีกแนวทางเลือกหนึ่งในการแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้

นอกจากนี้ การศึกษาการดูดดึงแคดเมียมของอ้อยในเรือนทดลอง คาดว่าจะสามารถใช้เป็นตัวแทนในการบอกหรือประมาณค่าของการดูดดึงแคดเมียม ในพื้นที่จริงได้ เนื่องจากสารประกอบแคดเมียมที่เติมลงไป ทราบความเข้มข้นแน่นอน และอยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้เลย ซึ่งจะต่างจากดินที่ปนเปื้อนแคดเมียมในพื้นที่จริง ที่พบแคดเมียมปนเปื้อนตั้งแต่ระดับผิวดิน จนถึงความลึกประมาณ 0.6-2 เมตร ในช่วงความเข้มข้น 49-430 mg kg^{-1} (กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, 2547) ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้ จึงต้องการที่จะทราบถึงความสอดคล้องของแคดเมียมที่มีอยู่ในพื้นที่จริงกับในเรือนทดลองที่มีการควบคุมความเข้มข้น และเพื่อศึกษาความสามารถของพืชในการดูดดึงแคดเมียม

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

1. การศึกษาการดูดดึงแคดเมียมในดินของอ้อยที่ปลูกในเรือนทดลอง

1.1 การเตรียมดิน การเก็บตัวอย่างดินที่ไม่มีการปนเปื้อนโลหะหนัก โดยวิธีการแบบสุ่มที่ระดับความลึก 0-30 เซนติเมตร เป็นตัวอย่างรวมจำนวน 1,800 กิโลกรัม และทำการสุ่มดินตัวอย่างมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ โดยทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของตัวอย่างดิน (Soil Properties) โดยมีพารามิเตอร์ดังนี้ เนื้อดิน (Soil Texture) ความชื้น (Moisture Content) ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) อินทรียวัตถุ (Organic Matter) ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchange Capacity; CEC) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (N) ฟอสฟอรัสทั้งหมด (P) โพแทสเซียม (K) และปริมาณแคดเมียมทั้งหมด (Total Cd)

1.2 การเตรียมภาชนะปลูก โดยการใช้ถุงพลาสติกสีดำอย่างหนาที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 นิ้ว ชั่งดินหนัก 50 กิโลกรัม (น้ำหนักแห้งต่อ 1 ถุง) ใส่ในภาชนะทดลอง จำนวนทั้งหมด 36 ถุง แล้วหุ้มด้วยพลาสติกอย่างหนา เพื่อรองรับโลหะหนักที่จะออกมากับน้ำที่ใช้รดต้นไม้

1.3 การเตรียมพืชทดลอง คัดเลือกลำอ้อยที่จะใช้สำหรับปลูกให้มีขนาด และน้ำหนักใกล้เคียงกัน ท่อนพันธุ์ที่ใช้ปลูกแต่ละท่อนจะมีตา 2-3 ตา และตาควรมีลักษณะเต่ง สมบูรณ์

1.4 การเตรียมสารประกอบแคดเมียมลงในดิน โดยทำการชั่งน้ำหนักสารประกอบแคดเมียมไนเตรท ให้ได้ตามสัดส่วนความเข้มข้นของแคดเมียมในดิน ที่ระดับความเข้มข้นเท่ากับ 0 10 20 และ 40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยคำนวณจากน้ำหนักดิน 50 กิโลกรัมต่อภาชนะ (น้ำหนักแห้ง)

1.5 วิธีการปลูก และการดูแลรักษา นำท่อนพันธุ์อ้อยที่คัดเลือกแล้ว ปลูกวางลงในภาชนะที่ใส่ดินเตรียมไว้จำนวน 1 ท่อนพันธุ์/ ภาชนะปลูก รดน้ำและดูแลรักษา จนกว่าตาอ้อยจะงอก และเจริญเติบโตเป็นต้นประมาณ 2 เดือน จะมีการเด็ดตาที่ไม่สมบูรณ์ทิ้งให้เหลือ 2 ต้นต่อภาชนะปลูก หลังจากนั้น ทำการใส่สารประกอบแคดเมียมไนเตรทที่ระดับความเข้มข้นเท่ากับ 0 10 20 และ 40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ที่ละลายในน้ำกลั่นปริมาตร 100 มิลลิลิตรต่อภาชนะ แล้วเทลงในดินในแต่ละภาชนะจำนวน 9 ภาชนะต่อระดับความเข้มข้น (ทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ) รดน้ำโดยควบคุมปริมาณน้ำ 1 ลิตรต่อครั้งต่อภาชนะปลูก ในระหว่างการปลูกอ้อยจะใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 จำนวน 2 ครั้ง คือ ครั้งแรกใส่ปุ๋ยตอนที่เริ่มปลูก และครั้งที่ 2 ใส่ปุ๋ยภายหลังจากการให้ปุ๋ยครั้งแรกแล้ว 3 เดือน

1.6 การเก็บตัวอย่างดินและอ้อย จะทำการเก็บตัวอย่างทุก 3 และ 6 เดือน (หลังจากที่มีการใส่สารประกอบแคดเมียม) ทำการหาปริมาณแคดเมียมสะสมในดิน ตามระยะเวลาของการเก็บเกี่ยว นำอ้อยมาล้างน้ำให้สะอาดแล้วแยกออกเป็น 5 ส่วน ได้แก่ ราก ท่อนพันธุ์เดิม ใบ ชานอ้อย และน้ำอ้อย นำมาชั่งน้ำหนักสด ยกเว้นน้ำอ้อย และนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง จนน้ำหนักคงที่ และนำไปชั่งน้ำหนักแห้ง บดให้ละเอียด และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียมในส่วนต่าง ๆ ของอ้อย

2. การวิเคราะห์หาแคดเมียมในดิน และส่วนต่าง ๆ ของพืช

การวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมในดิน และส่วนต่าง ๆ ของพืช 4 ส่วน คือ ใบ ชานอ้อย ท่อนพันธุ์เดิม และราก ใช้วิธีการของ USEPA method 3052 (USEPA, 1996) สำหรับน้ำอ้อย จะใช้วิธีการย่อยด้วยกรด (Tri Acid Digestion) (Barzegar et al., 2005) และตรวจวัดหาค่าปริมาณแคดเมียม ด้วยเครื่องอะตอมมิคแอปซอร์บชั่นสเปกโตรมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrometer; AAS)

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

1. คุณสมบัติเบื้องต้นของดินทดลอง

ดินที่ใช้ในการทดลองมีลักษณะเนื้อดินเป็นดินเหนียวปนทราย (Sandy Clay) คุณสมบัติอื่น ๆ ได้แสดงไว้ดังตารางที่ 1 จากคุณสมบัติเบื้องต้นของดิน พบว่า ดินทดลองมีค่อนข้างเป็นกรด และลักษณะของเนื้อดินค่อนข้างเป็นดินทรายซึ่งจะทำให้มีความสามารถดูดจับโลหะหนักได้ดีกว่าดินที่เป็นดินเหนียว

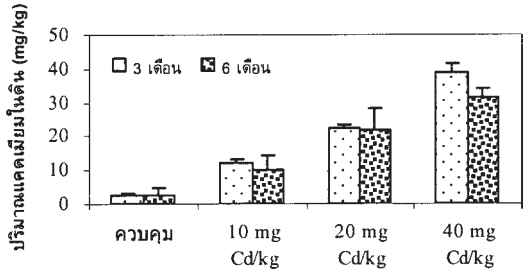
ตารางที่ 1 คุณสมบัติเบื้องต้นของดินทดลอง

คุณสมบัติ	เรือนทดลอง
ดินทราย	53.00
ดินทรายแป้ง (%)	11.00
ดินเหนียว (%)	36.00
เนื้อดิน	ดินเหนียวปนทราย
pH	4.77
CEC (c $mol_{(+)}$ kg^{-1})	3.6
อินทรียวัตถุ (%)	1.31
ไนโตรเจน (%)	0.066
ฟอสฟอรัส (ppm)	280
โพแทสเซียม (ppm)	26
แคดเมียม (mg kg^{-1})	2.651

2. การดูดดึงแคดเมียมในดินของอ้อย

จากการศึกษาการดูดดึงแคดเมียมในดินที่มีการใส่สารประกอบแคดเมียมที่ความเข้มข้น

0 10 20 และ 40 มิลลิกรัมแคดเมียมต่อกิโลกรัม ที่ระยะเวลา 3 เดือน มีค่าเท่ากับ 2.54 12.47 22.32 และ 38.95 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และที่ระยะเวลา 6 เดือน มีปริมาณแคดเมียมเท่ากับ 2.488 10.05 21.80 และ 31.64 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

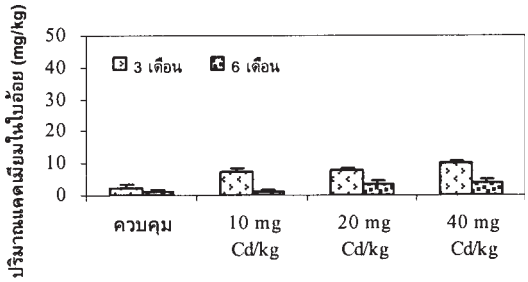


รูปที่ 1 การดูดดึงแคดเมียมในดินที่ปลูกในเรือนทดลอง

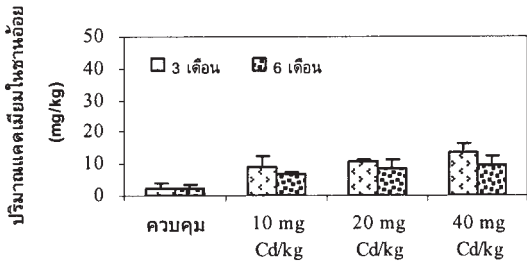
จากผลการวิจัย การดูดดึงแคดเมียมในดินของอ้อยที่ปลูกในเรือนทดลอง (รูปที่ 1) พบว่า ปริมาณแคดเมียมในดินมีแนวโน้มลดลงทุกระดับความเข้มข้น ตามระยะเวลาการปลูก 3 ถึง 6 เดือน ทั้งนี้เนื่องจาก การกำจัดแคดเมียมที่อยู่ในดินมีปัจจัยสำคัญคือ ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ซึ่งจากการศึกษา พบว่า แคดเมียมส่วนใหญ่สามารถเคลื่อนที่ (mobile) ได้ดีในดินที่เป็นกรด (acidic soil) ในช่วง pH 4.5 ถึง 5.5 ขณะที่ในดินที่เป็นด่าง (alkaline soil) แคดเมียมค่อนข้างไม่เคลื่อนที่ (immobile) (Alina and Henryk, 2000) นอกจากรูปของแคดเมียมที่สะสมอยู่ในดิน และตะกอนดินมีหลายรูปแบบ (speciation) แต่รูปที่สามารถดูดซึม และนำไปใช้ได้ในสิ่งมีชีวิตเรียกว่า Bioavailability (ศูนย์วิจัยแห่งชาติด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย, 2550) อย่างไรก็ตาม สารประกอบแคดเมียมไนเตรทที่ใส่ลงไปในดิน อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้เลย (Available form) จึงง่ายต่อการดูดดึงไปใช้ และนำไปสะสมอยู่ในส่วนต่างๆ ของอ้อย

3. การสะสมแคดเมียมในส่วนต่าง ๆ ของอ้อย

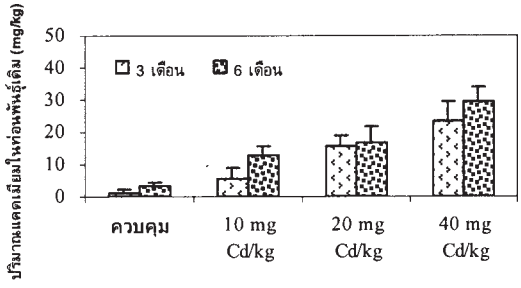
การศึกษาปริมาณการสะสมแคดเมียมในส่วนต่างๆ ของอ้อย แบ่งออกเป็น 5 ส่วน คือ ใบ ชานอ้อย ท่อนพันธุ์เดิม ราก และน้ำอ้อย ซึ่งผลการศึกษาสามารถแสดงได้ ดังรูปที่ 2 ถึง 5



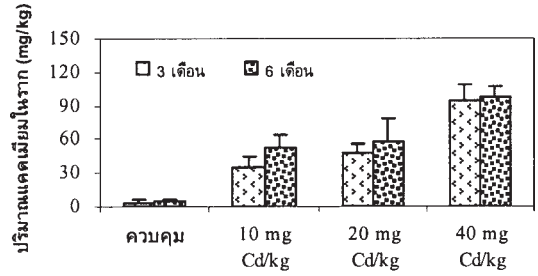
รูปที่ 2 การสะสมแคดเมียมในส่วนใบ



รูปที่ 3 การสะสมแคดเมียมในส่วนชานอ้อย



รูปที่ 4 การสะสมแคดเมียมในส่วนท่อนพันธุ์เดิม



รูปที่ 5 การสะสมแคดเมียมในส่วนราก

จากการศึกษาปริมาณการสะสมแคดเมียมในส่วนต่าง ๆ ของอ้อยที่ระดับความเข้มข้นแคดเมียมในดิน 40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ที่ระยะเวลา 6 เดือน พบว่า มีการสะสมแคดเมียมที่ส่วนราก > ท่อนพันธุ์เดิม > ชาน > ใบ มีค่าเท่ากับ 96.56 29.68 9.38 และ 3.99 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนน้ำอ้อยมีค่าน้อยมากจนไม่สามารถหาค่าได้ โดยในส่วนใบและชานอ้อยมีปริมาณการสะสมแคดเมียมลดลงตามระยะเวลาการปลูก ซึ่งต่างจากท่อนพันธุ์เดิมและราก ที่มีการสะสมแคดเมียมเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการปลูก จากผลการศึกษาดังกล่าว สามารถให้เหตุผลได้ว่า ในส่วนใบและลำต้น (ชานอ้อย) ที่ระยะเวลา 3 เดือนมีการสะสมแคดเมียมมากกว่า 6 เดือน ของทุกระดับความเข้มข้น เนื่องจาก เป็นช่วงที่อ้อยมีการเจริญเติบโต การเกิดใบ การแตกกอ และการเจริญเติบโตของลำปล้อง โดยการแตกกอนี้เริ่มขึ้นหลังจากปลูกอ้อยประมาณ 45 วัน และเกิดต่อเนื่องกันไปนาน 90 วัน เป็นช่วงเวลาการเกิดใบต่อเนื่องในอ้อย ที่เรียกว่า “plastochome” (พีรศักดิ์ และคณะ, 2544) จึงทำให้การสะสมแคดเมียมในส่วนใบ และชานอ้อยมีปริมาณสูง สำหรับท่อนพันธุ์เดิม และรากมีการสะสมแคดเมียมมากขึ้น ตามระยะเวลาการปลูก เนื่องจาก เป็นช่วงที่รากชุดเดิมที่เจริญมาจากส่วนข้อของท่อนพันธุ์เริ่มตายไป และมีการแทนที่โดยรากในส่วนล่างที่เกิดใหม่ ทำให้มีการดูดดึงแคดเมียมได้มากขึ้น ซึ่งแคดเมียมจัดว่าเป็นโลหะหนักที่มีความเป็นพิษ และมีลักษณะสมบัติทางเคมีคล้ายคลึงกับสังกะสีที่เป็นจุลธาตุ (Trace Element) ที่จำเป็นสำหรับพืช อีกทั้ง แคดเมียมมีพฤติกรรมคล้ายกับธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับพืชรวมทั้งมีความสามารถในการดูดดึง และการทำปฏิกิริยาต่าง ๆ ในพืชด้วยเช่นกัน ซึ่งแคดเมียมสามารถเคลื่อนที่จากดินผ่านรากไปยังส่วนต่าง ๆ ของพืชได้ นอกจากนี้ กระบวนการในการดูดดึงไปใช้ประโยชน์นั้นขึ้นอยู่กับสภาพความเป็นกรดเป็นด่างของดิน และ ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกด้วย นอกจากนี้ ช่วงเวลาประมาณ 6 เดือน อ้อยเริ่มมีการสะสมน้ำตาลในลำต้นสูง จึงทำให้ท่อนพันธุ์เดิมและราก มีการสะสมแคดเมียมเพิ่มขึ้น

สรุปผลการวิจัย

การดูดดึงแคดเมียมของอ้อย ที่ปลูกในเรือนทดลองสามารถสรุปได้ว่า อ้อยมีความสามารถในการดูดดึงแคดเมียมและสะสมในส่วนต่าง ๆ ของอ้อยได้ ทำให้ปริมาณแคดเมียมที่มีการปนเปื้อนในดินลดลง ซึ่งอ้อยสามารถสะสมแคดเมียมได้ในส่วนรากมากที่สุด และการสะสมแคดเมียมในน้ำอ้อยมีปริมาณน้อยมาก จนไม่สามารถหาค่าได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ หลักสูตรสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลกรณ์มหาวิทยาลัย และศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ในด้านทุนอุดหนุนงานวิจัย และสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

พีรศักดิ์ วรสุนทโรสถ สุนทร ดุริยะประพันธ์ ทักษิณ อาชวาคม สายันต์ ตันพานิช ชลธิชา นิวาสประกฤติ ปรียานันท์ ศรสูงเนิน. 2544. ทรัพยากรพืชในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้. พิมพ์ครั้งที่ 1. 3,000 เล่ม. นนทบุรี: สหมิตรพริ้นติ้ง.

ศูนย์วิจัยแห่งชาติด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย. 2550. การศึกษาปริมาณโลหะหนักในดินและอ้อยที่ปลูกในพื้นที่ภาคกลาง ภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. รายงานฉบับสมบูรณ์. กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, กรม. 2547. การปนเปื้อนของแคดเมียมในสิ่งแวดล้อม อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก[Online]. กรุงเทพมหานคร. แหล่งที่มา: http://www.dpim.go.th/dt/pper/000001085547312.pdf [30 พฤศจิกายน 2549]

Alina, KP., and Henryk, P. 2000. Trace elements in soils and plants. 3rd ed. New York: CRC Press.

Barzegar, AR., Koochekzadeh, A., Xing, B. and. Herbert, S. J. 2005. Concentration changes of Cd, Ni and Zn in sugarcane cultivated soils. Water, Air, and Soil Pollution 161: 97-112.

National Research Center for Environmental and Hazardous Waste Management (NRC-EHWM). 2005. Cadmium Distribution and Bioavailability in Cultivated Soil and Crops in tie Vicinity of Zinc Mine in Mae Sot. Bangkok: Chulalongkorn University.

USEPA. 1996. Microwave assisted acid digestion of siliceous and organically based matrices. method 3052, Washington D.C., USA.