บทความ: สารหนูในดินของประเทศไทยและการเปลี่ยนแปลงชีวปริมาณออกฤทธิ์ของสารหนูภายใต้สภาวะไร้อากาศ

ศีลาวุธ ดำรงศิริ [1,3], อภิชญา ดวงทอง [2,3]

[1] สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330

[2] สหสาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330

[3] โปรแกรมวิจัยการจัดการสารพิษในอุตสาหกรรมเหมืองแร่ ศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการสารและของเสียอันตราย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330

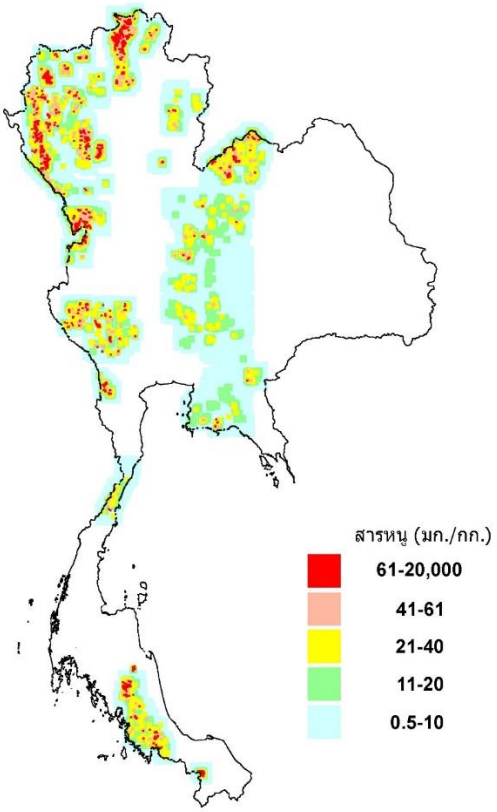
การอ้างอิง: ศีลาวุธ ดำรงศิริ, อภิชญา ดวงทอง. (2563). สารหนูในดินของประเทศไทยและการเปลี่ยนแปลงชีวปริมาณออกฤทธิ์ของสารหนูภายใต้สภาวะไร้อากาศ. วารสารสิ่งแวดล้อม, ปีที่ 24 (ฉบับที่ 1).

บทนำ

“ดิน” เป็นตัวกลางตามธรรมชาติที่มีองค์ประกอบที่ซับซ้อนและมีปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการกำเนิดมาเป็นดินอยู่มากมาย โดยองค์ประกอบหลักของดินนั้นก็คือ “เนื้อดิน” ซึ่งเกิดขึ้นจากการผุพังของชั้นหินใต้ผิวดินลึกลงไป ดังนั้น องค์ประกอบต่าง ๆ ของดินจึงมีที่มาจากองค์ประกอบของชั้นหินใต้ผิวดิน กล่าวคือ หากชั้นหินใต้ดินมีธาตุอะไรอยู่ ก็จะปรากฏอยู่ในดินที่เกิดจากชั้นหินนั้นด้วย ประเทศไทยนั้นมีแหล่งแร่อยู่หลายแห่ง ซึ่งธาตุต่าง ๆ ที่ปรากฏอยู่ในสายแร่นั้นจะปรากฏอยู่ในดินด้วย ทำให้ดินบริเวณนั้นมีธาตุต่าง ๆ บางตัวซึ่งเป็นธาตุอันตรายสูงกว่าที่อื่น ๆ เหตุนี้เองทำให้บางพื้นที่มีธาตุอันตรายบางชนิดสูงกว่ามาตรฐานทั้งที่ไม่ได้ถูกปนเปื้อนจากอุตสาหกรรมหรือกิจกรรมใด ๆ

สารหนู ก็เป็นธาตุชนิดหนึ่งที่มักพบปะปนอยู่ในสายแร่ต่าง ๆ หลายชนิดโดยจากการสำรวจหินโดยกรมทรัพยากรธรณี สามารถแสดงแผนที่ธรณีเคมีของสารหนูได้ดังภาพที่ 1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าพื้นที่ราว 20-30% ของประเทศไทยมีสารหนูปะปนอยู่ตามธรรมชาติ การที่มีสารหนูปะปนอยู่ในดินในพื้นที่เกษตรกรรมเป็นประเด็นที่ต้องตระหนัก เนื่องจากอาจทำให้เกิดการแพร่กระจายเข้าสู่ห่วงโซ่อาหาร ก่อให้เกิดการสะสมในร่างกาย และอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพหากได้รับสารหนูเข้าสู่ร่างกายเกินกว่ามาตรฐานติดต่อกันเป็นระยะเวลานาน (อนงค์ ไพจิตรประภาภรณ์, 2540)

ค่าพื้นฐานของธาตุประเทศไทย (Background Concentration) หมายถึง ค่าความเข้มข้นของธาตุในดินจากการสำรวจดินทั่วประเทศไทย แล้วประเมินโดยใช้วิธีทางสถิติตัดค่าที่สูงผิดปกติออกไป (มากกว่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95) โดยจากการสำรวจของกรมวิชาการเกษตร และ กรมพัฒนาที่ดิน ซึ่งสุ่มเก็บตัวอย่างดินจากพื้นที่เกษตรกรรมที่ไม่ปนเปื้อนจากอุตสาหกรรมทั่วประเทศ ทำให้ได้ค่าพื้นฐานของสารหนูเท่ากับ 30 และ 26 มก./กก. ตามลำดับ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558) หมายความว่า ดินในประเทศไทยตามธรรมชาติ อาจมีสารหนูสูงได้ถึง 26 หรือ 30 มก./กก. โดยประมาณ ซึ่งสูงกว่ามาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรมที่กำหนดไว้ให้ไม่ควรเกิน 3.9 มก./กก. ซึ่งหากดูจากแผนที่ในรูปที่ 1 ก็จะเห็นว่าพื้นที่หลายแห่งของประเทศไทยอาจจะมีสารหนูเกินกว่ามาตรฐานอยู่แล้วตามธรรมชาติ อย่างไรก็ตาม การที่สารหนูจะสะสมเข้าสู่พื้นอาหารหรือไม่นั้น จะขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและชนิดของพืชต่าง ๆ ซึ่งต้องพิจารณาเป็นกรณีไป



รูปที่ 1 แผนที่ธรณีเคมีของสารหนู

ที่มา: (ดัดแปลงจาก: กรมทรัพยากรธรณี, 2561)

ชีวปริมาณออกฤทธิ์ของสารหนู (Bioavailability of Arsenic)

ในทางวิชาการแล้ว ปริมาณสารหนูทั้งหมดในดิน (Total As concentration) ไม่ได้บ่งบอกถึงความอันตรายมากนัก เพราะอาจอยู่ในรูปแร่ หรือรูปต่าง ๆ ที่คงตัว ที่ไม่มีความพร้อมใช้งานทางชีวภาพ (ยุวดี เชี่ยววัฒนา, 2545) เช่น พืชไม่อาจดูดซึม หรือ น้ำไม่อาจชะออกมาได้ เป็นต้น ในการนี้ จึงมีการวิเคราะห์ปริมาณธาตุพิษในดินด้วยวิธีหนึ่งคือ การหาปริมาณธาตุพิษส่วนที่สิ่งมีชีวิตสามารถดูดซึมไปได้ หรือ เรียกว่า **ชีวปริมาณออกฤทธิ์** ซึ่งความสามารถในการใช้ประโยชน์ได้ทางชีวภาพของธาตุเป็นกระบวนการที่ซับซ้อน เปลี่ยนแปลงได้ตามปัจจัยต่าง ๆ ตามกระบวนการทางชีวภาพ และกระบวนการทางเคมี (Shahid et al., 2012) ได้แก่ องค์ประกอบของดิน จลนศาสตร์เคมี จุลินทรีย์ในดิน รวมถึงสภาวะดินเปียกและแห้ง เป็นต้น

สภาพแวดล้อมที่อาจทำให้สารหนูเปลี่ยนแปลงรูปแบบ และทำให้ชีวปริมาณออกฤทธิ์เพิ่มขึ้น

Hartley และ Dickinson (2010) ได้ทำการศึกษาอันเป็นประเด็นที่ทำให้เกิดความสงสัย ต่อการเปลี่ยนแปลงชีวปริมาณออกฤทธิ์ของสารหนูในพื้นที่เกษตรกรรม โดย Hartley และ Dickinson ได้ทดลองนำดินที่ปนเปื้อนธาตุพิษต่าง ๆ จากคลองแห่งหนึ่งที่รับน้ำเสียจากอุตสาหกรรมจำนวนมากมาทำการศึกษาดูผลของการเปลี่ยนแปลง Redox potential ของน้ำที่ไหลผ่านดินนั้นต่อการเปลี่ยนแปลงของธาตุพิษในดินดังกล่าว ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า สารหนูจะถูกชะออกมาจากดินภายใต้ Redox potential ต่ำ โดยยิ่งต่ำมากสารหนูก็ยิ่งถูกชะออกมามาก (ซึ่งตรงกันข้ามกับโลหะหนักต่าง ๆ) ซึ่งในทางวิชาการนั้น การที่สารหนูถูกชะออกมาได้มากมันก็บ่งชี้ว่าสารหนูในดินนั้นมีชีวปริมาณออกฤทธิ์เพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน **โดยในธรรมชาตินั้นสถานการณ์ที่ทำให้ค่า Redox potential ต่ำลงได้ง่าย ๆ ก็คือ การที่มีน้ำขังดินอยู่ซึ่งจุลินทรีย์ในดินจะย่อยสลายสารอินทรีย์ต่าง ๆ ในดิน และทำให้ออกซิเจนหมดไปเนื่องจากน้ำที่ขังจะกีดขวางออกซิเจนจากอากาศไว้ จึงเกิดสมมติฐานว่าหากดินที่ปนเปื้อนสารหนูถูกขังน้ำไว้จน Redox potential ลดต่ำลงมากๆ อย่างที่เกิดขึ้นในนาข้าว (นาข้าวมีค่าอีเอชต่ำได้ถึง -200 มิลลิโวลต์: Gotoh and Yamashita, 1966) ก็อาจทำให้ชีวปริมาณออกฤทธิ์ของดินในนาข้าวเพิ่มขึ้นได้หรือไม่ และอาจทำให้ต้นข้าวดูดสารหนูเข้าไปได้มากขึ้นด้วยเช่นกัน**

หมายเหตุ - Redox potential เป็นค่าที่บ่งชี้ระดับการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน/รีดักชัน และตัวรับอิเล็กตรอนหลักในปฏิกิริยาชีวเคมี โดยหากมีค่า Redox potential ต่ำกว่า +250 mV ปฏิกิริยาดังกล่าวจะเปลี่ยนตัวรับอิเล็กตอนจากออกซิเจนเป็นสารประกอบอื่นๆ (Mitsch and Gosselink, 2015) เช่น ไนเตรท เหล็กออกไซด์ ซัลเฟต คาร์บอนไดออกไซด์ ไล่เรียงไปตาม Redox potential ที่ต่ำลงเรื่อย ๆ

ประเด็นในการศึกษา และวิธีการศึกษา

จังหวัดเลยเป็นจังหวัดหนึ่งที่พบการแพร่กระจายของสารหนูตามธรรมชาติอยู่ในหลายพื้นที่ โดยมีพืชเกษตรกรรมในพื้นที่ เช่น ข้าว อ้อย ยางพารา ถั่วเหลือง และข้าวโพด เป็นต้น จึงมีความเป็นไปได้สูงที่พื้นที่เกษตรกรรมหลายที่จึงมีสารหนูเกินกว่าที่มาตรฐานคุณภาพดินกำหนดไว้ คณะผู้ศึกษาจึงได้ทดลองเก็บดินตัวอย่างจากนาข้าวแห่งหนึ่งในอำเภอวังสะพุง จังหวัดเลยมาทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

พื้นที่ศึกษาเป็นร่องเชิงเขา ตั้งอยู่ระหว่างเนินเขาที่ไม่สูงนักสองข้าง กว้าง 50-100 เมตร เป็นร่องเขายาวขึ้นไปทางต้นน้ำ พื้นที่นี้ในฤดูฝนจะมีน้ำขังจากน้ำที่ไหลมาจากเชิงเขาทั้งสองข้างและจากทางต้นน้ำ โดยเกษตรกรจะทำนาในฤดูฝน และปลูกอ้อยหรือพืชอื่น ๆ ในฤดูแล้ง โดยผู้ศึกษาได้เก็บตัวอย่างดินในเดือนกรกฎาคม เก็บดินที่ความลึก 0-15 ซม. โดยเก็บตัวอย่างดินจาก 6 ตำแหน่ง แต่ละตำแหน่งห่างกันประมาณ 100 เมตร ดินตัวอย่างจะถูกนำมาผสมกัน และแบ่งเป็นสองส่วน ส่วนแรก นำมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และนำไปตรวจวัดลักษณะเนื้อดิน (ASTM D7928–17) pH (US-EPA 9045D) Redox potential (ASTM G200–09) อินทรียวัตถุ (Walkley and Black Method) และความเข้มข้นของสารหนูทั้งหมดในดิน (US-EPA 3051A และ US-EPA 6010D) และ ดินส่วนที่สองจะเป็นดินที่ยังอยู่ในสภาพความชื้นเท่าเดิมโดยจะถูกนำไปตรวจวัดชีวปริมาณออกฤทธิ์ของสารหนูด้วยวิธีการสกัดด้วย EDTA (Gregori et al., 2004)

ในการจำลองดินเน่า ได้เลือกตัวอย่างดินที่มีสารหนูอยู่สูงมาทำการศึกษาต่อโดยใช้แนวทางจำลองระบบของ Damrongsiri (2018) ที่ใช้จำลองเพื่อศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลง Redox potential โดยกำหนดให้ 1) ให้สภาพไร้อากาศที่จำลองควรมี Redox potential ต่ำกว่า 0 มิลลิโวลต์ เพื่อให้เกิดการใช้สารอื่น ๆ เป็นตัวรับอิเล็กตรอน ซึ่งครอบคลุมตั้งแต่ไนเตรท แมงกานีส เฟอร์ริค ไปจนถึงซัลเฟต ซึ่งครอบคลุมการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบดินที่สำคัญต่อการศึกษา 2) ดินที่อยู่ในสภาพไร้อากาศอย่างต่อเนื่องโดยทั่วไปจะมีการสะสมของซัลไฟต์เพิ่มมากขึ้นเนื่องจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินซึ่งต้องอาศัยระยะเวลาในการสะสม (de Livera et al.,

2011) ในการทดลองนี้จึงทำการเติมสารประกอบซัลเฟอร์เพื่อร่นระยะเวลาในการจำลองสถานการณ์ดังกล่าวด้วย 3) ใช้อาหารเลี้ยงเชื้อเป็นแหล่งอาหารทำให้เชื้อจุลินทรีย์เติบโตได้อย่างรวดเร็ว และใช้ออกซิเจนที่มีอยู่อย่างจำกัดจนหมด และทำให้เกิดสภาพไร้อากาศ ขั้นตอนนี้ใช้เวลา 1 เดือน โดยทำการเขย่าขวดเบา ๆ ทุกวัน เมื่อครบ 1 เดือน จึงได้เปิดขวดหมักและตรวจวัด pH และ Redox potential เพื่อยืนยันการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมของดิน

ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

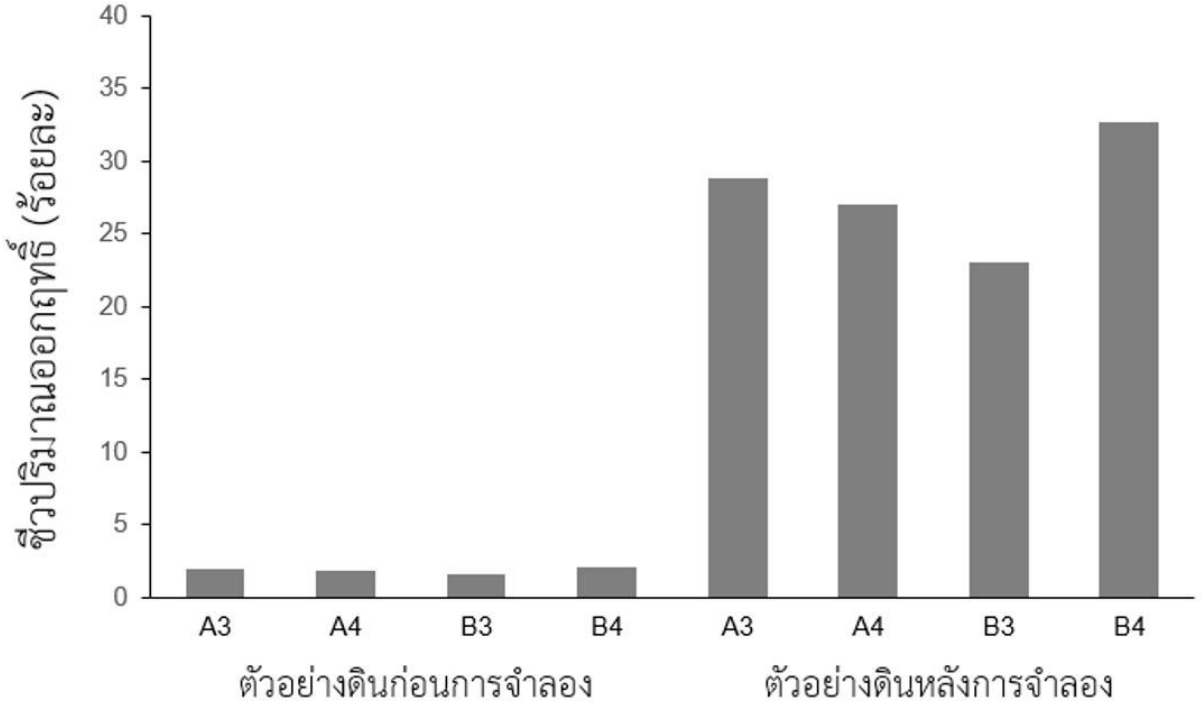
ผลการตรวจสอบดินตัวอย่างจากนาข้าวแสดงได้ตังตารางที่ 1 โดย พบว่า ดินมีเนื้อดินเป็นดินเหนียว บางตัวอย่างเป็นดินร่วนเหนียว เป็นลักษณะเฉพาะของพื้นที่ที่เป็นที่ราบเชิงเขา ดินทั้งหมดมีค่า pH เป็นกรด โดยเป็นลักษณะตามธรรมชาติของดินในพื้นที่ (สอดคล้องกับข้อมูลชุดดินที่ 7 31 และ 62) มีปริมาณอินทรียวัตถุเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์สูง (สถาบันวิจัยข้าว, 2547) ถือว่ามีความอุดมสมบูรณ์ ค่า Redox potential เฉลี่ย +650 มิลลิโวลต์ บ่งชี้ว่าดินตัวอย่างแห้งนี้ยังมีระดับปฏิกิริยาที่มีออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอน โดยมีสารหนูในดินสูงกว่ามาตรฐานดินเพื่อการเกษตรทุกตัวอย่าง

ตารางที่ 1 ผลการตรวจวัดค่าดัชนีต่าง ๆ ของดินตัวอย่าง

ตัวอย่างที่	สารหนู (มก/กก)	pH	Redox potential (มิลลิโวลต์)	อินทรียวัตถุ (ร้อยละ)
1	35.1	4.7	679	2.04
2	26.6	4.7	670	1.96
3	15.8	6.0	546	2.01
4	32.1	4.1	641	1.89
5	36.6	3.7	666	2.28
6	20.0	3.4	696	2.34
เฉลี่ย±SD	27.7±7.7	4.4±0.9	650±49	2.09±0.17
ค่าต่ำสุด	15.8	3.4	546	1.89
ค่าสูงสุด	36.6	6.0	696	2.34

ข้อมูลชุดนี้เป็นข้อมูลตั้งต้นของดินในพื้นที่ในขณะที่ยังแห้ง ซึ่งคณะผู้ศึกษาได้นำดินที่มีสารหนูสูง คือ ตัวอย่างที่ 1 2 4 และ 5 มาทำการหมักให้เกิดสภาพไร้อากาศ ซึ่งเมื่อนำดินไปทำการหมักเป็นเวลา 1 เดือน ผลการทดลองพบว่า ค่า Redox potential เฉลี่ยลดลงจาก +612±44 มิลลิโวลต์ เป็น -80±39 มิลลิโวลต์ สอดคล้องกับค่า pH เฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นจาก 5.70±0.31 เป็น 7.39±0.11 ซึ่งเป็นผลจากปฏิกิริยาชีวเคมีภายใต้ภาวะไร้อากาศซึ่งใช้ไฮโดรเจนไอออนในปฏิกิริยา นอกจากนี้ดินยังเปลี่ยนเป็นสีดำสนิท และมีกลิ่นของซัลไฟด์สอดคล้องกับค่า Redox potential ที่ลดต่ำลงจริง ผลการทดสอบนี้ชี้ให้เห็นว่าสภาพของดินเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นตามเงื่อนไขที่ต้องการ จึงเป็นตัวแทนของสภาพนาน้ำขังที่ดินเกิดสภาพไร้อากาศได้

ผลการศึกษาชีวปริมาณออกฤทธิ์ของสารหนูในดินก่อนและหลังการจำลองในสภาวะไร้อากาศ แสดงในรูปที่ 2 โดยก่อนการจำลอง มีค่าชีวปริมาณออกฤทธิ์ของสารหนูเฉลี่ยร้อยละ 1.84±0.20 (0.74±0.05 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และภายหลังการจำลองให้อยู่ในสภาพไร้อากาศ ชีวปริมาณออกฤทธิ์ของสารหนูเพิ่มขึ้นเป็นเฉลี่ยร้อยละ 27.92±5.49 (11.11±1.83 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)



รูปที่ 2 ชีวปริมาณออกฤทธิ์ของสารหนูในตัวอย่างดินก่อนและหลังจำลองในสภาวะไร้อากาศ แสดงผลในหน่วยร้อยละ

อภิปรายและสรุปผลการศึกษา

ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการชี้ให้เห็นว่า สภาวะไร้อากาศในดินสามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสารหนูที่ทำให้มีชีวปริมาณออกฤทธิ์เพิ่มขึ้นได้อย่างมาก ซึ่งทำให้มีโอกาสที่พืชจะดูดดึงไปใช้ได้ทำให้เกิดการสะสมในพืช และอาจเป็นผลเสียต่อผู้บริโภคหากมีการบริโภคติดต่อกันเป็นเวลานาน การทำการเกษตรกรรมที่ต้องมีการขังน้ำเป็นระยะเวลานาน ๆ อย่างการปลูกข้าว จึงเป็นการสร้างสภาพที่อาจทำให้เกิดสภาวะไร้อากาศในดินจนค่า Redox potential ลดลงมากได้ ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงความเหมาสะสมในการใช้พื้นที่แล้ว การปลูกข้าวในพื้นที่ที่มีสารหนูสูงจึงควรมีการบริหารจัดการน้ำที่เหมาะสม หรือมีการหมุนเวียนพืชที่ทำการเพาะปลูก หรืออาจพิจารณาปลูกพืชชนิดอื่นที่ไม่ต้องขังน้ำเพื่อหลีกเลี่ยงความเสี่ยงในประเด็นนี้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) และสำนักพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สบว.) สำหรับทุนอุดหนุนโปรแกรมวิจัย และขอขอบคุณสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อมและศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการสารและของเสียอันตราย (ศสอ.) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้อำนวยความสะดวกและสนับสนุนในด้านเครื่องมือและอุปกรณ์วิทยาศาสตร์อันเป็นประโยชน์ต่อความสำเร็จของการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

กรมทรัพยากรธรณี. แผนที่ ธาตุอาร์เซนิก (As). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.dmr.go.th/download/poster/acrobat/as_a4.pdf 2562

กรมพัฒนาที่ดิน. 2558. สถานภาพทรัพยากรดินและที่ดินของประเทศไทย. กรุงเทพมหานคร: ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.

ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25 (พ.ศ. 2547) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 121 ตอนพิเศษ 119 ง ลงวันที่ 20 ตุลาคม 2547

ยุวดี เชี่ยววัฒนา. 2545. การพัฒนาระบบการสกัดแบบต่อเนื่องสำหรับการสกัดเป็นลำดับขั้นเพื่อวิเคราะห์ Chemical Speciation ของโลหะหนัก. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย.

สถาบันวิจัยข้าว. 2547. คำแนะนำการใช้ปุ๋ยเคมีในนาข้าวตามค่าวิเคราะห์ดิน. กรุงเทพมหานคร: กรมวิชาการเกษตร.

อนงค์ ไพจิตรประภาภรณ์. 2540. การศึกษาติดตามปัญหาและการแก้ไขการแพร่กระจายของสารหนู อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช: กองทรัพยากรธรณี กรมทรัพยากรธรณี.

Damrongsiri, S. 2018. Transformation of heavy metal fractionation under changing environments: a case study of a drainage system in an e-waste dismantling community. Environmental Science and Pollution Research. 25(12): 11800-11811.

de Livera, J., McLaughlin, M. J., Hettiarachchi, G. M., Kirby, J. K., and Beak, D. G. 2011. Cadmium solubility in paddy soils: Effects of soil oxidation, metal sulfides and competitive ions. Science of the Total Environment. 409(8): 1489-1497.

Gregori, I., Fuentes, E., Olivares, D., and Pinochet, H. 2004. Extractable copper, arsenic and antimony by EDTA solution from agricultural Chilean soils and its transfer to alfalfa plants (Medicago sativa L.). J Environ Monit. 6(1): 38-47.

Gotoh, S., and Yamashita, K. 1966. Oxidation-reduction potential of a paddy soil in in situ with special reference to the production of ferrous ikon, manganous

Hartley, W., and Dickinson, N. M. 2010. Exposure of an Anaerobic and contaminated canal sediment: mobility of metal(loid)s. Environ Pollut. 158(3): 649-657.

Mitsch, W., and Gosselink, J. 2015. Wetlands. 5th Edition, New York: John Wiley & sons.

Shahid, M., Dumat, C., Aslam, M., and Pinelli, E. 2012. Assessment of lead speciation by organic ligands using speciation models. Chemical Speciation & Bioavailability. 24(4): 248-252.