



คู่มือองค์ความรู้และเทคโนโลยี
สำหรับการฟื้นฟูดินปนเปื้อนแคดเมียม สำหรับการเพาะปลูกพืช
อาหาร อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก



ผศ. ดร. ธนพล เพ็ญรัตน์

ดร. วิณิตา ขำอินทร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

งานวิจัยภายใต้โครงการส่งเสริมสนับสนุนการจัดการความรู้การ
วิจัยเพื่อการใช้ประโยชน์ ประจำปี 2563
สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ

คำนำ

การจัดทำเอกสารคู่มือองค์ความรู้และเทคโนโลยี สำหรับการฟื้นฟูดินปนเปื้อนแคดเมียม สำหรับการเพาะปลูกพืชอาหาร ออแกนิค แม่สอด จังหวัดตาก เพื่อใช้เป็นแนวทางให้ความรู้และแนวทางในการปฏิบัติ สำหรับเกษตรกรหรือชาวบ้านที่ประสบปัญหาพื้นที่เกษตรกรรมปนเปื้อนสารโลหะหนักแคดเมียม และต้องการทำการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนด้วยตนเอง โดยในคู่มือจะให้องค์ความรู้เกี่ยวกับเทคนิคการฟื้นฟู กระบวนการฟื้นฟู ค่าใช้จ่ายในการฟื้นฟู และเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของเทคนิคการฟื้นฟูที่เข้าใจง่ายและเกษตรกรหรือชาวบ้านสามารถดำเนินการเองได้

ผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่า ขั้นตอนรายละเอียดในคู่มือฉบับนี้จะเป็นประโยชน์แก่เกษตรกรและชาวบ้านได้ไม่มากนัก

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

คำนำ.....	ก
สารบัญ	ข
บทนำ.....	1
1. การปนเปื้อนแคดเมียมในพื้นที่อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก	2
2. เทคนิคการฟื้นฟูดินปนเปื้อนแคดเมียม	3
2.1 การปรับปรุงดินปนเปื้อนแคดเมียมด้วยถ่านชีวภาพ.....	3
2.2 การล้างดินปนเปื้อนแคดเมียมด้วยเครื่องล้างดินแรงแม่เหล็ก5	
3. กระบวนการฟื้นฟูดินปนเปื้อน	10
3.1 กระบวนการฟื้นฟูดินด้วยการใส่ถ่านชีวภาพ	10
3.2 กระบวนการฟื้นฟูดินด้วยการล้างดินด้วยเครื่องแยกอนุภาคแม่เหล็กออกจากดิน	11
4. การตรวจวิเคราะห์การปนเปื้อนแคดเมียม	12
5. ค่าใช้จ่ายในการฟื้นฟูดินปนเปื้อนแคดเมียม	15
เอกสารอ้างอิง	15

บทนำ

ปัญหาการปนเปื้อนของแคดเมียมในพื้นที่อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก เป็นที่กังวลของชุมชนมายาวนานมากกว่า 15 ปี ทั้งการปนเปื้อนในข้าว และพืชอาหาร อาทิ ผักกวางตุ้ง ผักบุ้ง ค่ะน้า มะเขือ และผักกูด นำไปสู่ผลกระทบต่อสุขภาพ และภาพลักษณ์ของพื้นที่ โดยมีพื้นที่เพาะปลูกที่ปนเปื้อนแคดเมียมกว่า 13,000 ไร่ ครอบคลุม 12 หมู่บ้าน ในพื้นที่ 3 ตำบลได้แก่ ตำบลพระธาตุผาแดง ตำบลแม่กุ และตำบลแม่ตาว อำเภอแม่สอด มีชาวบ้านที่มีสารแคดเมียมปนเปื้อนอยู่ในเลือดกระดูกและปัสสาวะในระดับสูงกว่าปกติ มีอาการไตวาย และอยู่ในภาวะไตเริ่มเสื่อมอันเนื่องมาจากการสะสมของแคดเมียมในร่างกายมากเกินไป (เกื้อเมธา ฤกษ์พรพิพัฒน์ และ กรวิกา วีระพันธ์เทพา (2553))

คณะนักวิจัยจากมหาวิทยาลัยนเรศวรร่วมกับชาวบ้านผู้ได้รับผลกระทบ ได้หารือถึงแนวทางการแก้ไขโดยใช้หลักการการมีส่วนร่วมของชุมชน และได้รับโจทย์วิจัยจากชุมชนในการแก้ไขปัญหาการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนแคดเมียมให้กลับมาใช้ประโยชน์ในการประกอบอาชีพ และปลูกพืชอาหารได้ตามเดิม โดยเทคนิคการฟื้นฟูดินปนเปื้อนที่นำมาค้นคว้าและศึกษาวิจัยแล้วทั้งระดับห้องปฏิบัติการ และระดับภาคสนาม รวมไปถึงการฝึกให้ชุมชนผู้ได้รับผลกระทบให้เป็นนักวิจัยชุมชนที่สามารถทำการฟื้นฟูได้ด้วยตนเอง ได้แก่ การใส่ถ่านชีวภาพระหว่างการเพาะปลูกและการล้างดินปนเปื้อนแคดเมียมด้วยเครื่องล้างดินแรงแม่เหล็กก่อนการเพาะปลูก ซึ่งนำมาสรุปเป็นคู่มือองค์ความรู้และการนำไปใช้ สำหรับชาวบ้านและผู้ที่ต้องการฟื้นฟูดินปนเปื้อนแคดเมียม

สอบถามข้อมูลเพิ่มเติม

ผศ.ดร. ธนพล เพ็ญรัตน์ E-mail: pompphenrat@gmail.com, ดร.วิมินดา ขำอินทร์ E-mail: y.khumin@gmail.com

1. การปนเปื้อนแคดเมียมในพื้นที่อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก

การปนเปื้อนสารแคดเมียมในพื้นที่นาข้าวของชาวบ้านพื้นที่นี้ ถูกค้นพบโดยหน่วยงานอิสระต่างชาติคือ IWMI (International Water Management Institute) และ Voluntary Service Oversea (VSO, UK) ซึ่งพบความเข้มข้นของแคดเมียมในตัวอย่างดินที่เก็บจากที่นาข้าวจำนวน 154 แปลง เกินค่าที่ยอมรับได้ของประชาคมเศรษฐกิจยุโรป (3.0 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ถึง 94 เท่าและเกินกว่าค่าเฉลี่ยแคดเมียมในดินของประเทศไทย (0.15 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) 1,800 เท่า และเมื่อตรวจสอบเมล็ดข้าวที่สีแล้วจากที่นาจำนวน 90 แปลง พบว่า 95 เปอร์เซ็นต์ของเมล็ดข้าวตัวอย่างเกินค่าสูงสุดที่ยอมให้มีได้ของสำนักงานอาหารและยาสหรัฐ (กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ (2555))

จากนั้นหน่วยงานรัฐต่างๆจึงได้ดำเนินการเข้าไปสำรวจการปนเปื้อนทั้งตัวอย่างดิน ตัวอย่างข้าว พืชอาหาร รวมไปถึงการเจาะเลือดชาวบ้านซึ่งก็ทำให้ทราบว่ามีการสะสมของแคดเมียมในชาวบ้านทั้งปนเปื้อนอยู่ในเลือด กระดูก และปัสสาวะในระดับสูง มีอาการไตวาย มีภาวะไตเริ่มเสื่อม ภาวะกระดูกพรุนอันเป็นอาการที่เกิดได้จากการสะสมของแคดเมียมในร่างกายมากเกินไป (เกื้อเมธา ฤกษ์พรพิพัฒน์ และ กรวิภา วีระพันธ์เพา (2553)) หลังจากพบการปนเปื้อน รัฐบาลจึงเข้ามาแก้ไขปัญหการปนเปื้อนจากแคดเมียมในพื้นที่นาข้าวกว่า 13,000 ไร่ อาทิ การห้ามการปลูกข้าว การทำลายข้าวที่ปลูกในพื้นที่ปนเปื้อนแคดเมียมพร้อมด้วยการชดเชยค่าเสียหาย หรือส่งเสริมการปลูกอ้อยแทนการปลูกข้าว (นักข่าวพลเมือง (2555)) อย่างไรก็ตามวิธีการแก้ไขปัญหาดังกล่าวอาจจะไม่ใช่วิธีการแก้ไขปัญหแบบเบ็ดเสร็จเนื่องจากการปลูกอ้อยในพื้นที่ดังกล่าวไม่คุ้มทุนและไม่เหมาะกับลักษณะพื้นที่ (โสภณ แดงโสภณ (2554)) ขณะเดียวกันชาวบ้านส่วนใหญ่หันกลับมาปลูกข้าวเพื่อบริโภคและนำไปขายให้โรงสี (เกียรติศักดิ์ หนานเกียรติ ม่วงมิตร (2554)) ซึ่ง

สอบถามข้อมูลเพิ่มเติม

ผศ.ดร. ธนพล เพ็ญรัตน์ E-mail: pompheeratt@gmail.com, ดร.วิมินดา ขำอินทร์ E-mail: y.khumin@gmail.com

ทำให้ข้าวปนเปื้อนแคดเมียมกลับมาแพร่กระจาย เกิดเป็นปัญหาต่อสุขภาพของประชาชน และยังไม่ได้รับการแก้ไขอย่างเบ็ดเสร็จ

2. เทคนิคการฟื้นฟูดินปนเปื้อนแคดเมียม

เพื่อตอบโจทยปัญหาการปนเปื้อนแคดเมียมในพื้นที่นาข้าวและพืชอาหาร และความต้องการของชาวบ้านที่ได้รับผลกระทบในพื้นที่ดังกล่าว คณะวิจัยจึงได้ศึกษาและทดลองปฏิบัติ แนวทางการแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยใช้หลักในทางวิศวกรรมการฟื้นฟูดินที่ปนเปื้อน ดังนี้

2.1 การปรับปรุงดินปนเปื้อนแคดเมียมด้วยถ่านชีวภาพ

การปรับปรุงดินเป็นเทคนิคการใส่สารปรับปรุงดินลงไปในพื้นที่ปนเปื้อนโลหะหนัก โดยสารปรับปรุงดินที่ใส่ลงไปในนั้นจะทำหน้าที่ดูดซับหรือเปลี่ยนรูปโลหะหนัก ทำให้โลหะหนักไม่สามารถถูกชะละลาย หรือหลุดออกมาจากดินได้ง่ายและไม่สามารถถูกถ่ายเทสู่พืชได้ง่าย ซึ่งเป็นการลดการแพร่กระจายของโลหะหนักในดินและในพืช แม้ว่าจะยังมีโลหะหนักอยู่ในดินก็ตาม (Bai et al., 2018; Hamid et al., 2019) โดยสารปรับปรุงดินที่นำมาใช้ในการฟื้นฟูดินปนเปื้อนมีหลายชนิด อาทิ ถ่านชีวภาพ

ถ่านชีวภาพ เป็นหนึ่งในสารปรับปรุงดินที่สามารถใช้ในการตรึงแคดเมียมไม่ให้เคลื่อนที่ไปสู่ข้าวในพื้นที่นาข้าว (Khum-in et al., 2020; Kosolsaksakul et al., 2018) เป็นวัสดุที่ผลิตมาจากวัสดุชีวมวลหลายชนิด อาทิ แกลบ ไม้ หรือ ตะกอนของเสีย (Dang et al., 2019; Méndez et al., 2012) ที่นำมาผ่านกระบวนการเผาหรือให้ความร้อนโดยไม่ใช้

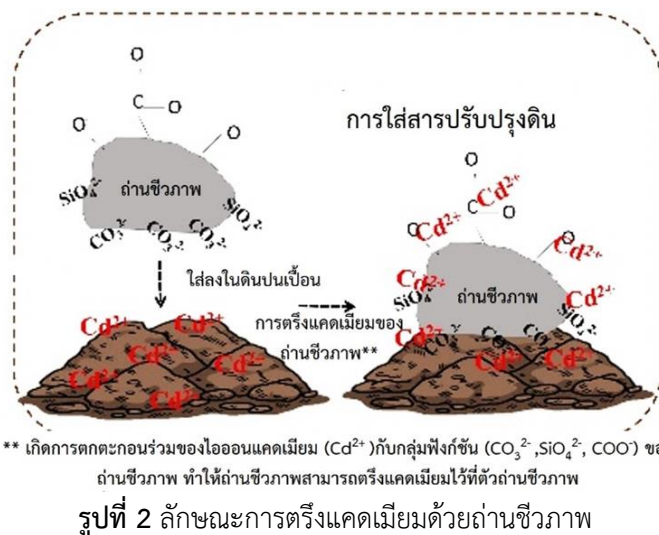


รูปที่ 1 ถ่านชีวภาพที่ทำมาจากแกลบ

สอบถามข้อมูลเพิ่มเติม

ออกซิเจนหรือใช้น้อยมากที่อุณหภูมิ 200-900 องศาเซลเซียสหรือที่เรียกว่า กระบวนการไพโรไลซิส (pyrolysis) ซึ่งจะแบ่งเป็นกระบวนการไพโรไลซิสช้า ปานกลาง และเร็ว ขึ้นกับอุณหภูมิและเวลา โดยส่วนใหญ่กระบวนการไพโรไลซิสแบบช้าจะถูกนำมาใช้ในการผลิตถ่านชีวภาพ เนื่องจากจะได้ผลผลิตที่เป็นถ่านชีวภาพประมาณ 25-35% ของชีวมวลที่ใส่ไป (Yuan et al., 2019) ถ่านชีวภาพจะมีลักษณะความพรุน มีหมู่ฟังก์ชันที่หลากหลาย สามารถตรึงแคดเมียมด้วยการแลกเปลี่ยนไอออน และการดูดซับเชิงซ้อนที่ผิวของถ่านชีวภาพ (Ahmad et al., 2014; Tang et al., 2013) ดังรูปที่ 2 ทำให้สามารถตรึงโลหะหนักไว้ที่ผิวของถ่านชีวภาพได้

เทคนิคการใส่สารถ่านชีวภาพถูกนำมาศึกษาและทดลองใช้ในพื้นที่นี้ จากผลการศึกษาวิจัยการใช้ถ่านชีวภาพในการตรึงแคดเมียมในดินนาข้าวปนเปื้อนแคดเมียม พบว่า ถ่านชีวภาพสามารถลดการถ่ายเทแคดเมียมไปสู่ข้าวได้ดี โดยมีค่าความเข้มข้นแคดเมียมในเมล็ดข้าว (0.29 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่ระบุระดับแคดเมียมในข้าวไม่เกิน 0.4 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (FAO/WHO, 2011) และพบว่าการใส่ถ่านชีวภาพเหมาะสำหรับการฟื้นฟูพื้นที่ที่ปนเปื้อนแคดเมียมไม่มากนัก (ต่ำกว่า 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) หรือพื้นที่ที่ปนเปื้อนมาก แต่ต้องการทำการเพาะปลูกในพื้นที่ระหว่างรอการดำเนินการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนโดยการกำจัดโลหะหนักออกไปจากดิน (เช่นวิธีการล้างดิน) ในภายหลัง เป็นต้น



2.2 การล้างดินปนเปื้อนแคดเมียมด้วยเครื่องล้างดินแรงแม่เหล็ก

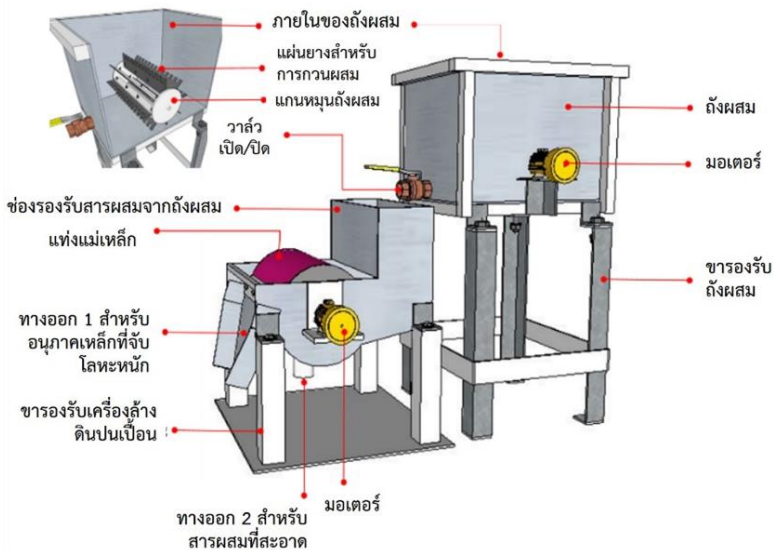
อย่างไรก็ดี การฟื้นฟูด้วยการใส่ถ่านชีวภาพสามารถช่วยลดแคดเมียมในข้าวได้ แต่ก็ เป็นวิธีการฟื้นฟูที่แคดเมียมนั้นยังคงอยู่ในดิน ดังนั้นวิธีการฟื้นฟูแบบการล้างดินจึงเป็นตัวเลือกที่ถูกนำมาศึกษา เพื่อที่จะทำการฟื้นฟูแบบมุ่งเน้นกำจัดโลหะหนักแคดเมียมออกจากดินอย่างถาวร

การฟื้นฟูด้วยวิธีการล้างดินเป็นการใช้สารหรือตัวกลางในการล้างดินชะล้างโลหะหนักออกจากดินซึ่งเป็นกระบวนการที่สามารถทำได้ทั้งในและนอกพื้นที่ (Lestan, 2017; Makino et al., 2007) โดยในการศึกษานี้จะเป็นการขุดดินขึ้นมาผ่านกระบวนการล้างและใส่ดินที่ผ่านกระบวนการกำจัดโลหะหนักแล้วกลับไปเติมเพื่อการใช้ประโยชน์ของที่ดินต่อไป ส่วนสารหรือตัวกลางในการล้างดินที่ปนเปื้อนโลหะหนักนั้นจะถูกส่งไปบำบัดต่อไป การศึกษานี้เป็นการออกแบบเครื่องล้างดินปนเปื้อนแคดเมียมด้วยแรงแม่เหล็ก (Magnetic-Assisted Soil Washing Machine) ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 3 โดยใช้ตัวกลางที่เป็น

สอบถามข้อมูลเพิ่มเติม

ผศ.ดร. ธนพล เพ็ญรัตน์ E-mail: pompphenrat@gmail.com, ดร.วิมินดา ขำอินทร์ E-mail: y.khumin@gmail.com

อนุภาคเหล็กประจุศูนย์ (ZVI) มาสกัดสารแคดเมียมออกจากดินจะเข้าสู่รากของข้าวเพื่อให้เกษตรกรในพื้นที่ปนเปื้อนสามารถปลูกข้าวได้ตามวิถีชีวิตเดิม ซึ่ง ZVI เคยถูกนำมาใช้ในการกำจัดโลหะทองแดง สังกะสี และปรอทในดิน ร่วมกับการล้างดินแล้ว (Feng et al., 2016; Feng et al., 2018) กลไกการจับแคดเมียมของอนุภาคเหล็กจะแสดงดังรูปที่ 4 เมื่อแคดเมียมละลายออกมาจากดินแล้ว แคดเมียมจะอยู่ในรูปแคดเมียมไอออน (Cd^{2+}) และจะทำปฏิกิริยาคูดซบเชิงซ้อนที่พื้นผิวของผงอนุภาคเหล็ก เกิดเป็นแคดเมียมเชิงซ้อนติดที่ผิวของผงอนุภาคเหล็กอย่างเสถียร ไม่สามารถหลุดออกได้ง่าย (Phenrat et al., 2019) จากนั้นจึงใช้เครื่องล้างดินปนเปื้อนด้วยแรงแม่เหล็กดึงผงอนุภาคเหล็กที่ดูดซับแคดเมียมออกมาจากดินได้



รูปที่ 3 แสดงเครื่องล้างดินปนเปื้อนแรงแม่เหล็ก

สอบถามข้อมูลเพิ่มเติม

ผศ.ดร. ธนพล เพ็ญรัตน์ E-mail: pompphenrat@gmail.com, ดร.วินิดา ขำอินทร์ E-mail: y.khumin@gmail.com

จากผลการศึกษาพบว่า การล้างดินปนเปื้อนแคดเมียมเพียงอย่างเดียวไม่ทำให้ค่าแคดเมียมในข้าวลดลง เนื่องจากยังมีแคดเมียมที่มาจากแหล่งกำเนิด (ลำห้วยที่ใช้ในการเกษตร) วิธีการล้างดินจึงจะมีประสิทธิภาพมากถ้าไม่มีแคดเมียมใหม่มาเติมระหว่างการฟื้นฟู หรือต้องใช้ควบคู่ กับการชีวภาพเพื่อตรึงแคดเมียมที่มาหลังจากการล้างดิน



รูปที่ 5 การใส่ถ่านชีวภาพ

3. กระบวนการฟื้นฟูดินปนเปื้อน

กระบวนการฟื้นฟูในคู่มือจะเป็นการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนแคดเมียมเพื่อการเพาะปลูกพืชอาหาร ซึ่งดำเนินการสาธิตในระดับภาคสนามมาแล้วในบริเวณพื้นที่ปนเปื้อนบริเวณลุ่มแม่ตาว อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก โดยแบ่งเป็นการฟื้นฟูด้วย 1) การใช้ถ่านชีวภาพเป็นสารปรับเสถียรดิน 2) การล้างดินปนเปื้อนแคดเมียมด้วยเครื่องแยกอนุภาคแม่เหล็กออกจากดิน โดยเทคนิคการฟื้นฟูจะถูกนำไปใช้ในกระบวนการ การเตรียมดินเพื่อการเพาะปลูก ซึ่งมีขั้นตอนการฟื้นฟูดินปนเปื้อนดังนี้

3.1 กระบวนการฟื้นฟูดินด้วยการใส่ถ่านชีวภาพ

สำหรับการเพาะปลูกพืชอาหาร ไม่ว่าจะเป็น การปลูกผักบุ้ง กวางตุ้ง หรือมะเขือ หรือการปลูกข้าว จะทำการใส่ถ่านชีวภาพในขั้นตอนการเตรียมดิน โดยจะเตรียมในลักษณะเดียวกันนั้นคือ

- ไถสับดินลึกประมาณ 15-20 เซนติเมตรตากไว้ ประมาณ 15-30 วัน แล้วพรวนดินให้ละเอียด (เป็นขั้นเตรียมดินเพื่อการเพาะปลูกปกติ) หลังจากนั้นใส่ถ่านชีวภาพในลักษณะพรวนไปใส่ถ่านชีวภาพไปให้ทั่วแปลงและทั่วถึงในระดับความลึก ในอัตราส่วน 3.20 ตันต่อไร่ (ดูรูปที่ 5)

- จากนั้นเตรียมดินเพื่อการเพาะปลูกแบบปกติ อาทิเช่น ทำการขึ้นแปลง สูง 15-20 เซนติเมตร ขนาดแปลงผักบุงและวางดั่งมีขนาด 1 เมตร x 1 เมตร สำหรับมะเขือ 1 เมตร x 2.8 เมตร (รูปที่ 6) จากนั้นปลูกต้นกล้าหรือหยอดเมล็ดพืชพันธุ์ เพื่อเพาะปลูก

หมายเหตุ: การใส่สารชีวภาพในการฟื้นฟูดินสามารถใช้ควบคู่กับการใส่ปุ๋ยได้ปกติ



รูปที่ 6 ตัวอย่างลักษณะการขึ้นแปลงสำหรับปลูกผักหลังใส่ถ่านชีวภาพ

3.2 กระบวนการฟื้นฟูดินด้วยการล้างดินด้วยเครื่องแยกอนุภาคแม่เหล็กออกจากดิน

สำหรับเทคนิคนี้มีการนำเครื่องจักรมาใช้ 2 ชนิด ได้แก่เครื่องกวนผสมดิน และเครื่องแยกแรงแม่เหล็ก โดยมีขั้นตอนการฟื้นฟูดินนี้

- เริ่มจากการขุดดินลึกประมาณ 15-20 เซนติเมตรในพื้นที่ที่ต้องการเพาะปลูก นำมาเข้าเครื่องกวนผสมจากนั้นใส่อนุภาคเหล็กและน้ำ (ในอัตราส่วน ดิน 1 กิโลกรัม อนุภาคเหล็ก 10 กรัม และน้ำ 2 ลิตร) ปั่น 6 ชั่วโมงต่อรอบ เพื่อให้ตัวอนุภาคเหล็กดูดตัวแคดเมียมในดินมาไว้ที่ตัวอนุภาคเหล็ก

- หลังจากกวนผสมครบ 6 ชั่วโมงให้เปิดวาล์ว ต่อท่อปล่อยลงเครื่องเครื่องแยกแรงแม่เหล็ก เพื่อแยกอนุภาคเหล็กที่ดูดแคดเมียมไว้กับตัวของเหลวดินที่

สอบถามข้อมูลเพิ่มเติม

ผศ.ดร. ธนพล เพ็ญรัตน์ E-mail: pompphenrat@gmail.com, ดร.วิณิดา ขำอินทร์ E-mail: y.khumin@gmail.com

สะอาด อนุภาคเหล็กที่ดูดแคดเมียมไว้จะถูกเก็บใส่ถุงแยกเพื่อส่งกลับให้ทางนักวิจัยเพื่อการกำจัดต่อไป ส่วนของเหลวดินที่สะอาดจะถูกปล่อยลงแปลงเพื่อการเพาะปลูกต่อไป

-ของเหลวดินที่สะอาดที่ถูกปล่อยกลับเข้าแปลงปลูก จะถูกปล่อยทิ้งไว้ 5-7 วัน เพื่อให้ดินพอแห้งๆ แล้วไถสับดินตากไว้ 15-20 เซนติเมตร แล้วพรวนดินให้ละเอียด จากนั้นเตรียมดินเพื่อการเพาะปลูกแบบ เช่นเดียวกับแปลงถ่านชีวภาพ (ดังรูปที่ 7)

4. การตรวจวิเคราะห์การปนเปื้อนแคดเมียม

อย่างไรก็ตาม ในการฟื้นฟูดินปนเปื้อนแคดเมียมในช่วง 2-3 ปีแรก ควรมีการตรวจหาค่าความเข้มข้นของแคดเมียมในดินและพืชอาหาร เพื่อติดตามดูค่าความเข้มข้นของโลหะแคดเมียมในดินและในพืชหลังการฟื้นฟูในทั้ง 2 เทคนิคการฟื้นฟู ซึ่งควรทำการเก็บตัวอย่างดินและพืชอาหารในก่อน ระหว่าง ปลูก และหลังปลูก

ตัวอย่างดิน ทำการเก็บตัวอย่างแบบสุ่มในแปลงทดลองสุ่มเก็บตัวอย่างดิน โดยก่อนขุดดินจะต้องถางหญ้า และกวาดเศษพืชออกจากบริเวณผิวหน้าดิน แล้วใช้จอบ เสียมหรือพลั่ว ขุดหลุมเป็นรูปวี (ดูรูป 8) ให้ลึกในแนวตั้งประมาณ 15 เซนติเมตร แล้วชะเอาดินด้านหนึ่ง หนาประมาณ 2-3 เซนติเมตร จากปากหลุมถึงก้นหลุม ดินที่ได้นี้เป็นดินจาก 1 จุด โดยต้องเก็บดินประมาณ 10-15 จุดกระจายให้ครอบคลุมทั่วแปลงขนาด 1 ไร่ มาผสมคลุกเคล้าให้เข้ากันจนทั่วแล้วแผ่ดินให้เป็นวงกลม จากนั้นแบ่งผ่ากลางออกเป็น 4 ส่วนเท่ากัน เก็บใส่ถุงพลาสติกเพียง 1 ส่วนหนักประมาณ ½ กิโลกรัม ส่วนตัวอย่างพืชอาหารจะสุ่มมาประมาณ 10-15 ต้นให้ทั่วไร่ จากนั้นนำตัวอย่างส่งมาวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นของแคดเมียม ด้วยเครื่องมือ Flame Atomic Absorption Spectroscopy หรือ FAAS ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์

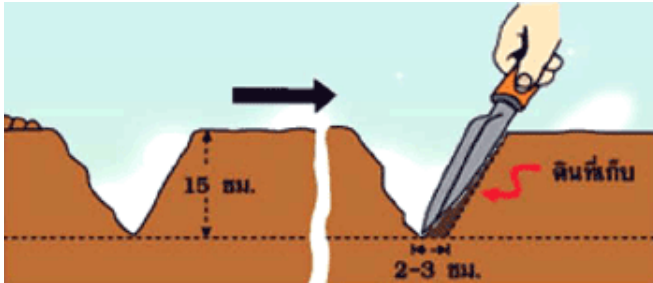
นอกจากนี้ยังมีห้องปฏิบัติการที่สามารถส่งตัวอย่างดินและพืชอาหารไปวัดหาค่าความเข้มข้นของโลหะหนักได้ ได้แก่ สำนักงานพัฒนาที่ดินห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรหรือศูนย์วิจัยพืช เป็นต้น

สอบถามข้อมูลเพิ่มเติม

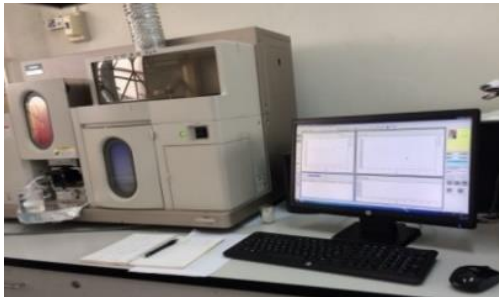
ผศ.ดร. ธนพล เจริญรัตน์ E-mail: pompphenrat@gmail.com ดร.วิณิตา ขำอินทร์ E-mail: y.khumin@gmail.com



รูปที่ 7 การเตรียมดินและแปลงปลูกสำหรับเทคนิคการล้างดินปั่นเนื้อ



รูปที่ 8 การเก็บตัวอย่างดินในแต่ละจุดเก็บ
(กรมพัฒนาที่ดิน(2553))



รูปที่ 9 เครื่องมือ FAAS

5. ค่าใช้จ่ายในการฟื้นฟูดินปนเปื้อนแคดเมียม

ต้นทุนค่าใช้จ่ายในการฟื้นฟูที่คิดมาจากค่าดำเนินการของแต่ละเทคนิคการฟื้นฟู โดยมีทั้งสองเทคนิคมีค่าใช้จ่ายที่แตกต่างกันตามข้อได้เปรียบและเสียเปรียบของแต่ละเทคนิคดังตารางที่ 1 และตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่าการฟื้นฟูด้วยถ่านชีวภาพใช้ค่าใช้จ่ายอยู่ที่ 69,800 บาทต่อไร่ (ค่าใช้จ่ายทุกปีการเพาะปลูก) และการล้างดินอยู่ที่ 1,374,660 บาทต่อไร่ (ค่าใช้จ่าย 6 เดือนในการฟื้นฟูเพียง 1 ครั้ง) จะเห็นได้ว่าค่าใช้จ่ายทั้งสองเทคนิคฟื้นฟูมีค่าใช้จ่ายที่ค่อนข้างสูงเมื่อผลตอบแทนจากการขายข้าวซึ่งจะตกประมาณอยู่ที่ 7,000 บาทต่อไร่ แต่ถ้าพิจารณาในเรื่องของผลกระทบต่อสุขภาพที่มาจาก การบริโภคข้าวที่ปนเปื้อนแคดเมียมนั้นจะมีค่าใช้จ่ายในการรักษาซึ่งสูงกว่าการเทคนิคการฟื้นฟูดังกล่าว อาทิ โรคไตเรื้อรัง ซึ่งจะต้องเข้ารับการรักษาอย่างต่อเนื่องในหลากหลายอาการ ถ้าถึงขั้นผ่าตัดเปลี่ยนไตก็ต้องเสียค่าใช้จ่ายรวม 290,000 บาท/ผู้ป่วย (อ้างอิงจาก โรงพยาบาลบำรุงราษฎร์, สืบค้นเมื่อปี 2560) และยังมีค่าใช้จ่ายอื่นๆ ที่เกิดขึ้นรวมเกือบล้าน (Anutrakulchai et al., 2016) ซึ่งราคาผลกระทบต่อสุขภาพเหล่านี้ ชาวบ้านผู้ได้รับผลกระทบไม่สมควรที่จะต้องจ่าย ดังนั้นการนำเทคนิคการฟื้นฟูดังกล่าวมาใช้จะช่วยลดความเสี่ยงในมิติของสุขภาพ และผู้ที่รับผิดชอบค่าใช้จ่ายในการฟื้นฟูดินคือ ผู้ที่ก่อให้เกิดมลพิษ ตามคำพิพากษาของศาลที่ให้อำนาจจัดตั้งกองทุนฟื้นฟู

อย่างไรก็ตามการจะนำเทคนิคมาใช้นั้น คณะวิจัยแนะนำว่าควรมีการสำรวจพื้นที่เพื่อจำแนกพื้นที่ ดูค่าความเข้มข้นของแคดเมียมในดินก่อนการฟื้นฟูดิน เพื่อเป็นการเลือกว่าควรจะใช้เทคนิคใดเก็บพื้นที่ใด เนื่องจากการล้างดินปนเปื้อนเหมาะที่จะนำมาใช้กับดินที่ปนเปื้อนสูง (>75 มก ต่อ กก) ไม่จำเป็นต้องใช้การฟื้นฟูดินด้วยการล้างดินทั้งหมด แต่ถ้าน้อยกว่า (<75 มก ต่อ กก) ซึ่งจะเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายด้วย

ตารางที่ 1 ต้นทุน ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการฟื้นฟู

ค่าใช้จ่ายในการฟื้นฟู	ถ่านชีวภาพ	การล้างดินปนเปื้อนด้วยเครื่องแรงแม่เหล็ก
1. ต้นทุนวัสดุ (บาทต่อไร่)	- ใช้ถ่านชีวภาพ 3,200 กิโลกรัมต่อไร่ - ราคา กิโลกรัมละ 20 บาท* ดังนั้น ต้นทุนวัสดุถ่านชีวภาพเท่ากับ 64,000 บาทต่อไร่	- ใช้อนุภาคเหล็ก 3,840 กิโลกรัมไร่ - ราคา กิโลกรัมละ 15-20 บาท* ดังนั้น ต้นทุนวัสดุอนุภาคเหล็กเท่ากับ 76,800 บาท
2. แรงงาน (บาทต่อไร่)	- คนงานเตรียมแปลง 4 คน - คนละ 300 บาท - จำนวนวัน ประมาณ 4 วัน ดังนั้น ต้นทุนแรงงานการเตรียมแปลงเท่ากับ 4,800 บาท	- คนงานเตรียมแปลง 4 คน (คนละ 300 บาท จำนวนวัน ประมาณ 4 วัน) ดังนั้น ต้นทุนแรงงานการเตรียมแปลงเท่ากับ 4,800 บาท - ค่าแรงล้างดิน คนงาน 5 คนต่อไร่ (คนละ 300 บาท ระยะเวลาล้าง 6 เดือน (186 วัน)) ดังนั้น ต้นทุนแรงงาน เท่ากับ 279,000 บาท
3. รถไถ (บาทต่อไร่)	- 1,000 บาทต่อไร่	1,000 บาทต่อไร่
4. เครื่องจักร	- ไม่มี	- เครื่องล้างดินล้างดินปนเปื้อนแรงแม่เหล็ก 383,060 บาท - เครื่องกวาดผสม 510,000 บาท - เครื่องกำเนิดไฟฟ้าและเครื่องสูบน้ำ 120,000 บาท
รวม	69,800 บาทต่อไร่ (ค่าใช้จ่ายทุกปีการเพาะปลูก)	1,374,660 บาทต่อไร่ (ค่าใช้จ่าย 6 เดือนในการฟื้นฟูเพียง 1 ครั้ง)

*<http://allbiomass.blogspot.com/2017/04/blog-post.html>

ตารางที่ 2 ตารางเปรียบเทียบข้อได้เปรียบและข้อเสียเปรียบของเทคนิคการฟื้นฟู

เทคนิคการฟื้นฟู	ข้อได้เปรียบ	ข้อเสียเปรียบ
1. การใส่ถ่านชีวภาพ	<ul style="list-style-type: none"> - วัสดุที่ใช้สามารถหาได้ง่าย ราคาถูก หรือสามารถผลิตได้ง่ายด้วยตนเอง - มีประสิทธิภาพในการตรึงสารโลหะหนักได้ดี อาทิ ลดการแคดเมียมไปสู่ข้าวได้ 74 % (Khum-in et al., 2020) - ใช้งานได้ง่าย กระบวนการใช้คล้ายกับการใส่ปุ๋ย 	<ul style="list-style-type: none"> - สารพิษหรือโลหะหนักยังคงอยู่ในที่ไม่ได้ถูกนำออกจากพื้นที่ - ต้องรองรับระบบการตรวจติดตาม - ต้องมีการใส่ถ่านชีวภาพทุกครั้งที่มีการเพาะปลูกเพื่อความปลอดภัยในการเพาะปลูก
2. การล้างดินปนเปื้อนด้วยเครื่องล้างดินปนเปื้อนแรงแม่เหล็ก	<ul style="list-style-type: none"> - เป็นการนำสารพิษหรือโลหะหนักออกจากที่ได้อย่างถาวร - มีประสิทธิภาพ ในการกำจัดแคดเมียมในดินถึง 78 % (Phenrat et al., 2019) - เหมาะกับการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนที่ไม่มีการปนเปื้อนใหม่ - ระยะเวลาในการดำเนินการสั้นกว่า - ไม่มีผลกระทบต่อการใช้ประโยชน์ 	<ul style="list-style-type: none"> - ความยุ่งยากกว่าในเรื่องของกระบวนการ ทั้งการขุดดิน การกวนผสมในเครื่อง การควบคุมเวลา การจ้างคนงานสูงกว่า เป็นต้น - ความยุ่งยากกว่าในเรื่องของอุปกรณ์การติดตั้ง ทั้งระบบไประบบน้ำ และพื้นที่ - ต้องมีระบบการจัดเก็บกากของเสียอันตรายหลังจากการดำเนินการฟื้นฟู - ราคาการดำเนินการสูงกว่า

เอกสารอ้างอิง

- กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ (2555). การปนเปื้อนของ แคดเมียมในสิ่งแวดล้อม อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก. <http://www.dpim.go.th/laws/article?catid=122&articleid=309>
- กรมพัฒนาที่ดิน. (กันยายน 2553). คู่มือการปฏิบัติงานกระบวนการวิเคราะห์ ตรวจสอบดินทางเคมี. สืบค้นเมื่อ 1 กรกฎาคม 2563, จาก <http://www.ddd.go.th/PMQA/2553/Manual/OSD-03.pdf>
- เกื้อเมธา ฤกษ์พรพิพัฒน์ และ กรวิกา วีระพันธ์เทพา (2553). แคดเมียมที่แม่ดาว หนึ่งม้วนเดิมที่ยังไม่ได้แก้ไข มูลนิธิโลกสีเขียว. <http://www.greenworld.or.th/greenworld/local/993>
- เกียรติศักดิ์ หนานเกียรติ ม่วงมิตร (2554). แคดเมียม ข้าวกับชะตากรรมของ ชาวผาแดง. <http://www.gotoknow.org/blogs/posts/446123>
- นักข่าวพลเมือง (2555). เปิดภูิกษาชาวบ้านแม่ดาว หมดหวังรัฐเยียวยาพิษ แคดเมียม. ประชาไท. <http://prachatai.com/journal/2012/01/38584>
- โสภณ แดงโสภณ (2554). นอกแม่สอด ตรวจซ้ำเขตปนเปื้อนแคดเมียม-พบ ปมใหญ่ปลุกอ้อยไม่คุ้ม. สำนักประชาสัมพันธ์เขต 4 จ.พิษณุโลก.
- Ahmad, M., Rajapaksha, A. U., Lim, J. E., Zhang, M., Bolan, N. S., Mohan, D., . . . Ok, Y. S. 2014. Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: A review. *Chemosphere*, 99, 19-33. doi:<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.10.071>
- Anutrakulchai, S., Pongskul, C., Sirivongs, D., Tonsawan, P., Thepsuthammarat, K., Chanaboon, S., . . . Thinkhamrop, B. 2016. Factors associated with mortality and high treatment expense of adult patients hospitalized with

สอบถามข้อมูลเพิ่มเติม

ผศ.ดร. ธนพล เพ็ญรัตน์ E-mail: pompphenrat@gmail.com, ดร.วิมินดา ขำอินทร์ E-mail: y.khumin@gmail.com

- chronic kidney disease in Thailand. *Asian Biomedicine*, 10(1), 15-24. doi:doi:10.5372/1905-7415.1001.460
- Bai, Y., Yan, Y., Zuo, W., Gu, C., Guan, Y., Wang, X., . . . Feng, K. 2018. Distribution of cadmium, copper, lead, and zinc in mudflat salt-soils amended with sewage sludge. *Land Degrad. Dev.*, 29(4), 1120-1129. doi:10.1002/ldr.2914
- Dang, V. M., Joseph, S., Van, H. T., Mai, T. L. A., Duong, T. M. H., Weldon, S., . . . Taherymoosavi, S. 2019. Immobilization of heavy metals in contaminated soil after mining activity by using biochar and other industrial by-products: the significant role of minerals on the biochar surfaces. *Environmental Technology*, 40(24), 3200-3215. doi:10.1080/09593330.2018.1468487
- FAO/WHO. 2011. Working Document For Information And Use In Discussions Related To Contaminants And Toxins In The GSCTFF. Joint FAO/WHO Food Standards Programme Codex Committee Contaminants In Foods, CF/5-INF/1, March 2011.
- Feng, N., Ghozeisi, H., Bitton, G., & Bonzongo, J. J. 2016. Removal of phyto-accessible copper from contaminated soils using zero valent iron amendment and magnetic separation methods: Assessment of residual toxicity using plant and MetPLATE studies. *Environ Pollut.*, 219, 9-18. doi:10.1016/j.envpol.2016.09.050
- Feng, N., Ghozeisi, H., Boularbah, A., Bitton, G., & Bonzongo, J.-C. J. 2018. Combined Use of Zero Valent Iron and Magnetic Separation for ex-situ Removal of Bioavailable Metals from Contaminated Sediments. *Soil Sediment Contam.*, 2(2), 131-146. doi:10.1080/15320383.2018.1433631

- Hamid, Y., Tang, L., Sohail, M. I., Cao, X., Hussain, B., Aziz, M. Z., . . . Yang, X. 2019. An explanation of soil amendments to reduce cadmium phytoavailability and transfer to food chain. *Science of The Total Environment*, 660, 80-96. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.419>
- Khum-in, V., Suk-in, J., In-ai, P., Piaowan, K., Phaimisap, Y., Supanpaiboon, W., & Phenrat, T. 2020. Combining biochar and zerovalent iron (BZVI) as a paddy field soil amendment for heavy cadmium (Cd) contamination decreases Cd but increases zinc and iron concentrations in rice grains: a field-scale evaluation. *PROCESS SAF ENVIRON*, 141, 222-233. doi:<https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.05.008>
- Kosolsaksakul, P., Oliver, I. W., & Graham, M. C. 2018. Evaluating cadmium bioavailability in contaminated rice paddy soils and assessing potential for contaminant immobilisation with biochar. *J Environ Manage*, 215, 49-56. doi:[10.1016/j.jenvman.2018.03.044](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.03.044)
- Lestan, D. 2017. Novel chelant-based washing method for soil contaminated with Pb and other metals: A pilot-scale study. *Land Degrad. Dev.*, 28(8), 2585-2595. doi:[10.1002/ldr.2818](https://doi.org/10.1002/ldr.2818)
- Makino, T., Kamiya, T., Takano, H., Itou, T., Sekiya, N., Sasaki, K., . . . Sugahara, K. 2007. Remediation of cadmium-contaminated paddy soils by washing with calcium chloride: verification of on-site washing. *Environ. Pollut.*, 147(1), 112-119.
- Méndez, A., Gómez, A., Paz-Ferreiro, J., & Gascó, G. 2012. Effects of sewage sludge biochar on plant metal availability

after application to a Mediterranean soil. *Chemosphere*, 89(11), 1354-1359.

doi:<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.05.092>

Phenrat, T., Hongkumnerd, P., Suk-in, J., & Khum-in, V. 2019. Nanoscale Zerovalent Iron Particles for Magnet-Assisted Soil Washing of Cadmium-contaminated Paddy Soil: Proof of Concept. *Environ. Chem.* doi:10.1071/EN19028

Tang, J., Zhu, W., Kookana, R., & Katayama, A. 2013.

Characteristics of biochar and its application in remediation of contaminated soil. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 116(6), 653-659.

doi:<https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2013.05.035>

Yuan, P., Wang, J., Pan, Y., Shen, B., & Wu, C. 2019. Review of biochar for the management of contaminated soil: Preparation, application and prospect. *Science of The Total Environment*, 659, 473-490.