

หัวข้อวิจัย	ศึกษาการใช้เศษกระดูกอาหารเพื่อลดการสะสมของแคดเมียมในข้าวที่ปลูกในดินที่ปนเปื้อนแคดเมียม
ผู้ดำเนินการวิจัย	ผศ.ดร.ปารินดา สุขสบาย และ รศ.ดร.ไพฑิพย์ อีร์เวชญาน
หน่วยงาน	หลักสูตรสิ่งแวดล้อมเมืองและอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสวนดุสิต
ปี พ.ศ.	2561

ปัญหาการปนเปื้อนแคดเมียมเมล็ดข้าวเป็นปัญหาสำคัญในอำเภอ แม่สอด จังหวัดตาก การวิจัยครั้งนี้เพื่อศึกษาผลของการใช้เศษกระดูกอาหารและไบโอชาร์จากเศษกระดูกอาหารชนิดต่างๆ เพื่อลดปริมาณการสะสมของแคดเมียมในข้าวที่ปลูกในดินที่ปนเปื้อนแคดเมียมโดยความเข้มข้นของแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินเริ่มต้น ประมาณ  $103.68 \pm 2.70$  มิลลิกรัม/กิโลกรัมดิน โดยเงื่อนไขการทดลองใช้ กระดูกหมู 1% (w/w), กระดูกไก่ 1 (w/w), กระดูกหมูเผา 1% (w/w), กระดูกไก่เผา 1% (w/w) , กระดูกหมู 0.5 % (w/w), กระดูกไก่ 0.5 (w/w), กระดูกหมูเผา 0.5% (w/w) และกระดูกไก่เผา 0.5 % (w/w) เติมในดินที่ปนเปื้อนแคดเมียมในการปลูกข้าวซึ่งผลการทดลองพบว่าหลังการเก็บเกี่ยวข้าว 90 วัน ต้นข้าวที่ปลูกในดินที่ปนเปื้อนแคดเมียมที่มีการเติมกระดูกหมู 1% (w/w) เป็นเงื่อนไขที่ดีที่สุดในการลดการสะสมของแคดเมียมในเมล็ดข้าว โดยมีปริมาณแคดเมียมที่สะสมในเมล็ดเหลือเพียง  $0.18 \pm 0.01$  มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งจัดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของการสะสมแคดเมียมในเมล็ดข้าวตามมาตรฐานของ Codex Committee on Food Additives and Contaminant (CCFAC) ที่กำหนดให้ปริมาณแคดเมียมในเมล็ดข้าวไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้ กระดูกหมู 1% (w/w) มีศักยภาพที่สามารถลดแคดเมียมที่สะสมในเมล็ดข้าวได้สูงกว่าการใช้สารปรับปรุงดินด้วยเงื่อนไขอื่นๆ และอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานความปลอดภัย

ผลการทดลองยังพบว่า การเติมกระดูกหมู 1% (w/w) ในการปลูกข้าวในดินที่ปนเปื้อนแคดเมียมจะมีปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียมในราก ลำต้น เปลือกและเมล็ดของข้าว สูงกว่าเงื่อนไขอื่นๆ ทำให้แคลเซียมและแมกนีเซียมแย่งจับกับแคดเมียมเข้าสู่ต้นข้าวจึงทำให้ปริมาณแคดเมียมในต้นข้าวลดลงต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับเงื่อนไขอื่น ๆ ดังนั้นการนำกระดูกหมู 1% (w/w) เติมในดินที่ปนเปื้อนแคดเมียมเพื่อปลูกข้าวสามารถแก้ปัญหาการปนเปื้อนของแคดเมียมในเมล็ดข้าวได้และปริมาณแคดเมียมในเมล็ดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

**คำสำคัญ:** แคดเมียม, ต้นข้าว, เศษกระดูกอาหาร, ไบโอชาร์ของเศษกระดูกอาหาร

**Research Title :** Potential of bone meal for reducing cadmium accumulation in rice plants grown in Cd-contaminated soil  
**Researcher :** Assist.Dr. Parinda Suksabye, Asso. Prof. Dr. Paitip Thiravetyan  
**Organization :** Urban and Industrial Environmental Management Program, Faculty of Science and Technology, Suan Dusit Rajabhat University  
**Year:** 2018

In Thailand, cadmium contamination in rice is a major problem in Mae Sod district, Tak Province. The aim of this research was to study the effects of the addition of bone meal and biochar of bone meal for reducing cadmium accumulation in rice plants grown in cadmium contaminated soil. The initial Cd concentration in Cd-contaminated soil used in this study was about  $103.68 \pm 2.70$  mg Cd/kg soil. The rice plants were grown in cadmium contaminated soil with the addition of pork bone (1%w/w), chicken bone (1%w/w), biochar derived from pork bone (1% w/w), biochar derived from chicken bone (1% w/w), pork bone (0.5%w/w), chicken bone (0.5 %w/w), biochar derived from pork bone (0.5% w/w) and biochar derived from chicken bone (0.5% w/w). After harvesting 90 days, the results showed that pork bone (1%w/w) were the best conditions in terms of reducing cadmium accumulation in rice grains when compared other conditions. The cadmium concentration in the grain was  $0.18 \pm 0.01$  mg Cd/kg dry weight for the addition of pork bone (1%w/w). Moreover, the cadmium accumulation in grain was below the standard of the Codex Committee on Food Additives and Contaminant (CCFAC) that the maximum cadmium level permitted was 0.2 mg/kg. The results also found that the addition of pork bone (1%w/w) had higher calcium and magnesium in root, shoot, husk, and grain when compared with other conditions. Therefore, calcium and magnesium compete with Cd to be uptake by rice plants that effect the reducing cadmium accumulation in rice plants. The addition of pork bone (1%w/w) in the Cd-contaminated soil for growing rice plants can be solved the problem contaminated in rice grains.

**Keywords:** Cadmium, Rice plant, Bone meal, Biochar of bone meal

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จด้วยดี เนื่องจากได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง นอกจากนี้ขอขอบพระคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยสวนดุสิต ที่ให้การประสานงานแก่โครงการทำให้โครงการวิจัยสำเร็จตามวัตถุประสงค์

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติ Remediation สถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ในการให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์และสถานที่ในการทดลองรวมทั้งเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ Remediation ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

คณะผู้วิจัย

2561

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ซ
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	<b>1</b>
ความเป็นมาและความสำคัญ	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
ขอบเขตของการวิจัย	3
ประโยชน์ที่ได้คาดว่าจะได้รับ	3
<b>บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	<b>4</b>
แคดเมียม	4
ความเป็นพิษของแคดเมียม	5
ข้าว	7
การดูดซับโลหะหนักของพืช	10
การลดการปนเปื้อนของแคดเมียมในดินโดยใช้ phytotechniques	11
กระบวนการดูดซับ	17
เศษกระดูกอาหาร	20
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	21
กรอบแนวคิดในการวิจัย	25
<b>บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย</b>	<b>26</b>
อุปกรณ์ เครื่องมือ และสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย	26
การเตรียมต้นกล้า	27
การเตรียมดิน	28
การเตรียม เศษกระดูกอาหารและไบโอชาร์ของเศษกระดูกอาหาร	29
ศึกษาองค์ประกอบและคุณลักษณะของวัสดุปรับปรุงดิน	30
แผนการวิจัย	31
การวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมในส่วนต่าง ๆ ของข้าว	32
การวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมในดิน	32

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่างของระบบในการปลูกข้าว	32
ศึกษาผลผลิตของข้าวในรูปน้ำหนักแห้งของข้าวหลังเก็บเกี่ยว	32
การวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมในข้าว	32
ศึกษากลไกการดูดซับสารละลายแคลเซียมด้วยวัสดุปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ	33
ศึกษาปริมาณของแคลเซียม และแมกนีเซียมออกจากวัสดุปรับปรุงดินที่แยก ชะด้วยน้ำ DI	33
สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล	34
<b>บทที่ 4 ผลการวิจัย</b>	35
คุณสมบัติของดินที่ปนเปื้อนแคดเมียม	35
การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุปรับปรุงดิน X-ray fluorescence (XRF)	36
การศึกษาลักษณะของสารปรับปรุงดินด้วย SEM/EDS	37
ผลของลักษณะพื้นผิวของเศษกระดูกอาหารและไบโอชาร์ของเศษกระดูกอาหาร	45
ผลการใช้เศษกระดูกอาหารและไบโอชาร์เศษกระดูกอาหาร ในการลดการสะสม แคดเมียมในต้นข้าว	46
ปริมาณของแคดเมียมที่เหลือในดิน	51
ผลผลิตของข้าวในรูปน้ำหนักแห้งหลังเก็บเกี่ยว	53
ผลของแคลเซียมต่อปริมาณแคดเมียมที่สะสมในต้นข้าว	54
ผลของแมกนีเซียมต่อปริมาณแคดเมียมที่สะสมในต้นข้าว	59
ผลของสารปรับปรุงดินต่อค่าพีเอชของดินในการปลูกข้าว	62
การดูดซับสารละลายแคลเซียมด้วยเศษกระดูกอาหารและ ไบโอชาร์ของเศษกระดูก อาหาร	63
ประสิทธิภาพการแยกชะของสารละลายแคดเมียมออกจากตัวดูดซับ	63
การศึกษาหมู่ฟังก์ชันของตัวดูดซับด้วย FTIR	65
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ</b>	69
สรุปผลการวิจัยและอภิปรายผล	69
ข้อเสนอแนะ	70
<b>บรรณานุกรม</b>	71
บรรณานุกรมภาษาไทย	71
บรรณานุกรมภาษาต่างประเทศ	71

<b>ภาคผนวก</b>	75
ภาคผนวก ก	76
ภาคผนวก ข	91
<b>ประวัติผู้วิจัย</b>	99

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ความเป็นพิษแบบเฉียบพลันของแคดเมียมที่มีต่อมนุษย์โดยการกิน	6
2.2 พิษชนิดต่าง ๆ ที่จัดเป็น hyperaccumulator	12
3.1 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์ดินที่นำมาศึกษา	27
4.1 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินที่ปนเปื้อนแคดเมียมที่ใช้ในการทดลอง	34
4.2 องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุปรับปรุงดิน	31
4.3 องค์ประกอบของธาตุ (element) ในกระดุกหมูที่วิเคราะห์ด้วย SEM/EDS	41
4.4 องค์ประกอบของธาตุ (element) ในกระดุกหมูเฒ่าที่วิเคราะห์ด้วย SEM/EDS	42
4.5 องค์ประกอบของธาตุ (element) ในกระดุกไก่ที่วิเคราะห์ด้วย SEM/EDS	43
4.6 องค์ประกอบของธาตุ (element) ในกระดุกไก่เฒ่าที่วิเคราะห์ด้วย SEM/EDS	43
4.7 พื้นที่ผิวจำเพาะของกระดุกหมู กระดุกไก่ กระดุกหมูเฒ่า และกระดุกไก่เฒ่าที่ใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดิน	45
4.8 ปริมาณแคดเมียมที่สะสมในส่วนต่าง ๆ ของต้นข้าวในการทดลองเงื่อนไขการทดลองแตกต่างกัน	47
4.9 ปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมจากวัสดุปรับปรุงดินที่แยกชะด้วยน้ำ DI	50
4.10 ปริมาณแคดเมียมที่เหลืออยู่ในดิน หลังจากเก็บเกี่ยว 90 วัน	51
4.11 น้ำหนักแห้ง (dry weight) ของต้นข้าวหลังเก็บเกี่ยว 90 วัน	53
4.12 ปริมาณแคลเซียมที่สะสมในส่วนต่าง ๆ ของต้นข้าวหลังเก็บเกี่ยวข้าว 90 วัน	56
4.13 ปริมาณแมกนีเซียมที่สะสมในส่วนต่าง ๆ ของต้นข้าวหลังเก็บเกี่ยวข้าว 90 วัน	59
4.14 ค่าพีเอชดินในการปลูกข้าวเมื่อใช้วัสดุปรับปรุงดินต่างกัน	62
4.15 การดูดซับสารละลายแคดเมียมด้วยวัสดุปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ	63
4.16 ประสิทธิภาพการแยกชะแคดเมียมออกจากวัสดุปรับปรุงดิน	64

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 วัฏจักรของแคดเมียม	5
2.2 กระบวนการโดยรวมของ phytoaccumulation หรือ phytoextraction	12
2.3 กระบวนการต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับ phytoremediation ซึ่งเป็นการใช้พืชเพื่อ กำจัดสารมลพิษที่ปนเปื้อนและตกค้างในสิ่งแวดล้อม	16
2.4 กลไกการลดแคดเมียมที่จะถูกดึงดูด	17
2.5 กลไกการดูดซับ	14
2.6 กระจุกหุ้มป่น	21
2.7 กรอบแนวคิดในการวิจัย	25
3.1 การเพาะกล้า	26
3.2 ดินนาผสมกับแร่สังกะสีซิลิเกตที่มีแคดเมียมปนเปื้อน	27
3.3 กระจุกหุ้มและกระจุกไก่อ่อนเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส	28
3.4 กระจุกหุ้มและกระจุกไก่อ่อนเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส	28
3.5 กระจุกหุ้ม กระจุกไก่อ่อนเผา กระจุกหุ้มเผาและกระจุกไก่อ่อนเผา สำหรับใช้ในการทดลอง	29
3.6 การปลูกต้นกล้าในกระถางการทดลอง	30
4.1 ภาพถ่ายจาก SEM (ก) กระจุกหุ้ม X 1000 เท่า (ข) กระจุกหุ้มเผา X 1000 เท่า (ค) กระจุกไก่อ่อนเผา X 1000 เท่า (ง) กระจุกไก่อ่อนเผาเผา X 1000 เท่า	38
4.2 ภาพถ่ายจาก SEM (ก) กระจุกหุ้ม X 2000 เท่า (ข) กระจุกหุ้มเผา X 2000 เท่า (ค) กระจุกไก่อ่อนเผา X 2000 เท่า (ง) กระจุกไก่อ่อนเผาเผา X 2000 เท่า	40
4.3 ภาพองค์ประกอบของธาตุ (element) ในกระจุกหุ้ม ที่วิเคราะห์ด้วย EM/EDS	41
4.4 ภาพองค์ประกอบของธาตุ (element) ในกระจุกหุ้มเผา ที่วิเคราะห์ด้วย SEM/EDS	42
4.5 ภาพองค์ประกอบของธาตุ (element) ในกระจุกไก่อ่อนเผา ที่วิเคราะห์ด้วย SEM/EDS	42
4.6 ภาพองค์ประกอบของธาตุ (element) ในกระจุกไก่อ่อนเผาเผา ที่วิเคราะห์ด้วย SEM/EDS	43
4.7 ปริมาณแคดเมียมในราก (ก) ลำต้น (ข) เปลือก (ค) และเมล็ดข้าว (ง) เมื่อปลูก ข้าวในดินที่ปนเปื้อนแคดเมียมภายใต้เงื่อนไขการทดลองต่าง ๆ หลังเก็บเกี่ยว 90 วัน	49
4.8 ปริมาณแคดเมียมที่เหลืออยู่ในดินภายใต้เงื่อนไขการทดลองต่าง ๆ หลังจากเก็บ เกี่ยว 90 วัน	52
4.9 น้ำหนักแห้ง (dry weight) ของต้นข้าวหลังเก็บเกี่ยว 90 วัน	54

4.10 ปริมาณแคลเซียมในราก (ก) ลำต้น (ข) เปลือก (ค) และเมล็ดข้าว (ง) เมื่อปลูกข้าวในดินที่ปนเปื้อนแคดเมียมภายใต้เงื่อนไขการทดลองต่าง ๆ หลังเก็บเกี่ยว 90 วัน	58
4.11 ปริมาณแมกนีเซียมในราก (ก) ลำต้น (ข) เปลือก (ค) และเมล็ดข้าว (ง) เมื่อปลูกข้าวในดินที่ปนเปื้อนแคดเมียมภายใต้เงื่อนไขการทดลองต่าง ๆ หลังเก็บเกี่ยว 90 วัน	61
4.12 หมูฟงชั้นของกระดูกหมูก่อนดูดซับและหลังดูดซับสารละลายแคดเมียม	65
4.13 หมูฟงชั้นของกระดูกไก่ก่อนดูดซับและหลังดูดซับสารละลายแคดเมียม	66
4.14 หมูฟงชั้นของกระดูกหมูเฝือกก่อนดูดซับและหลังดูดซับสารละลายแคดเมียม	67
4.15 หมูฟงชั้นของกระดูกไก่เฝือกก่อนดูดซับและหลังดูดซับสารละลายแคดเมียม	68