รายงานผลงานเรื่องเต็มการทดลองที่สิ้นสุด

---

1. ชื่อแผนงานวิจัย **วิจัยและพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร**

2. ชื่อโครงการวิจัย การศึกษาการจัดการธาตุอาหาร ดิน ปุ๋ย และโลหะหนัก ที่มีความเฉพาะเจาะจงกับลักษณะดิน

ชื่อกิจกรรม ศึกษาการปนเปื้อนของโลหะหนักในดิน น้ำ พืช และวิธีการปรับปรุงแก้ไขพื้นที่ที่ปนเปื้อน

ชื่อกิจกรรมย่อย การจัดการดินและพืชที่เป็นปัญหาในพื้นที่ทางการเกษตร

3. ชื่อการทดลอง (ภาษาไทย) ศึกษาการปนเปื้อนของโลหะหนักในดินโดยวิธียับยั้งการละลาย

ชื่อการทดลอง (ภาษาอังกฤษ) : The Study of Remediation treatments in Heavy metal (Cadmium) Contaminated soil

4. คณะผู้ดำเนินงาน

หัวหน้า	นายวริศ แคนคอง	กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร
ผู้ร่วมงาน	นายสุรสิทธิ์ อรรถจารุสิทธิ์	กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร
	นางสาววนิดา โนบรรเทา	กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร
	นางสาวศราริน กลิ่นโพธิ์กลับ	กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร
	นายอนันต์ ทองภู	กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

5. **บทคัดย่อ**

จากการสำรวจเบื้องต้นเกี่ยวกับการปนเปื้อนของธาตุโลหะหนักและธาตุกึ่งโลหะในประเทศไทย พบว่า ธาตุแคดเมียม ทองแดง และสังกะสี เป็นโลหะหนักที่สะสมอยู่ในดินและผลผลิตของพืชค่อนข้างสูงอาจมีผลกระทบต่อคุณภาพของดิน (พิชิตและสุรสิทธิ์, 2542) และคุณภาพของผลผลิตพืชที่เป็นอาหาร (Pongsakul et al., 1999) จำเป็นต้องศึกษาการปนเปื้อนของโลหะหนักในดินโดยวิธียับยั้งการละลาย เพื่อให้ได้แนวทางปฏิบัติในการแก้ไขและบำบัดดินที่ปนเปื้อนจากโลหะหนักโดยเฉพาะแคดเมียม การทดลองแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ทดลองในห้องปฏิบัติการ ทดลองในโรงเรือน และการทดลองในแปลง ผลทดลองในห้องปฏิบัติการจากการบ่มดินที่มีการปนเปื้อนแคดเมียมด้วยสารยับยั้งการละลายชนิดต่างๆเป็นเวลา 40 วัน พบว่าปริมาณแคดเมียมรูปที่แลกเปลี่ยนได้และรูปที่พืชสามารถดูดไปใช้ได้มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการใช้แมกนีเซียมออกไซด์อัตรา 900 กิโลกรัมต่อไร่มีปริมาณแคดเมียมทั้งรูปที่แลกเปลี่ยนได้และรูปที่พืชดูดใช้ได้น้อยกว่ากรรมวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

การทดลองในสภาพโรงเรือนโดยปลูกข้าวเป็นพืชทดลอง พบว่า การใส่สารยับยั้งการละลายมีผลทำให้ปริมาณแคดเมียมในฟางข้าว เมล็ด และแกลบมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกรรมวิธี MgO 2,700 กก./ไร่ มีแนวโน้มแคดเมียมน้อยกว่ากรรมวิธีอื่นอย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะในเมล็ดซึ่งเป็นส่วนที่นำไปใช้เป็นอาหาร

มีค่าเท่ากับ 0.85 mg/kg เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน CODEX ของปริมาณแคดเมียมในอาหารพบว่าเกินกว่ามาตรฐาน (0.4 mg/ kg)

การทดลองในแปลงปีที่ 1 ที่ อ.แม่สอด จ. ตาก ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีปัญหาการปนเปื้อนของแคดเมียม ปลูกข้าวเป็นพืชทดลอง วางแผนการทดลองแบบ RCBD 4 กรรมวิธี 5 ซ้ำ ประกอบด้วย กรรมวิธีควบคุม MgO 2,700 กก./ไร่ หินฟอสเฟต 1,600 กก./ไร่+ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต และหินฟอสเฟต 4,800 กก./ไร่+ทริบเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต 480 กก./ไร่ พบว่าการใส่สารยับยั้งการละลายมีผลทำให้ปริมาณแคดเมียมในฟางข้าว ราก เมล็ด และแกลบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ กรรมวิธี MgO 2,700 กก./ไร่ มีปริมาณแคดเมียมในเมล็ดน้อยที่สุด คือเท่ากับ 1.6 mg /kg แต่ยังสูงกว่าค่ามาตรฐานค่ามาตรฐาน CODEX ขณะที่กรรมวิธีควบคุมปริมาณแคดเมียมในส่วนประกอบต่างๆของข้าวสูงที่สุด โดยในเมล็ดมีค่าเท่ากับ 2.5 mg /kg

การทดลองในแปลงปีที่ 2 ทดลองในพื้นที่ใกล้เคียงกับปีที่ 1 ปลูกข้าวเป็นพืชทดลอง วางแผนการทดลองแบบ RCBD 5 กรรมวิธี 4 ซ้ำประกอบด้วย กรรมวิธีควบคุม MgO อัตรา 1,350 2,700 4,050 และ 5,400 กก./ไร่ พบว่าการใส่สารยับยั้งการละลายมีผลทำให้ปริมาณแคดเมียมในเมล็ดข้าวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ กรรมวิธี MgO ทุกอัตรามีปริมาณแคดเมียมในส่วนฟางข้าว รากและเมล็ดน้อยกว่ากรรมวิธีควบคุมอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ กรรมวิธี MgO 1,350 กก./ไร่ มีปริมาณแคดเมียมในเมล็ดน้อยที่สุด คือเท่ากับ 1.38 mg /kg แต่เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน CODEX ของปริมาณแคดเมียมในอาหารพบว่าเกินกว่ามาตรฐาน (0.4 mg /kg)

จากผลการทดลองข้างต้นจะเห็นว่าใช้สารยับยั้งการละลายสามารถลดการปนเปื้อนแคดเมียมได้ในระดับหนึ่งแต่ผลตกค้างในผลผลิตข้าวยังอยู่ในเกณฑ์ที่สูงกว่าค่ามาตรฐาน CODEX จำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติม เพื่อเป็นแนวทางลดการปนเปื้อนของโลหะหนักที่มีผลต่อคุณภาพผลผลิตด้านการเกษตรในพื้นที่ที่มีปัญหาการปนเปื้อนต่อไป

คำสำคัญ: ข้าว แคดเมียม สารยับยั้งการละลาย

Abstracts

Preliminary survey of a contamination of heavy metals in Mae Tao floodplain soils, Tak province indicated that the concentrations of cadmium (Cd), copper (Cu) and zinc (Zn) were highly accumulated in soils and plants, especially rice (Pangsakul et al., 1999). Cadmium (Cd) is considered to be one of the toxic elements which can provide negative effects to not only soil and rice quality but also human health. As this reason, it is necessary to determine suitable remediation approach to reduce the contamination of Cd and suppress the dissolution of this element in Mae Tao floodplain soils.

The study on finding suitable remediation approach for Cd-contaminated soils was divided into three scales including (1) laboratory, (2) greenhouse, and (3) field scales. Paddy rice

was used for the two latter experiments. Results of laboratory scale showed that there was significantly difference between exchangeable- and plant available-Cd in Cd-contaminated soils after 40 day incubation. This research indicated that the incubation of contaminated soils with 900 kg/rai MgO contained the lowest concentration of exchangeable- and plant available-Cd.

In green house study, Cd dissolution-suppressing agent had significantly affected on the concentrations of Cd accumulated in rice materials such as straw, seed and husk. The concentration of Cd showed clearly decrease in soils which were treated with 2700 kg/rai MgO, particularly rice seed containing the concentration Cd approximately 0.85 mg/kg. However, this Cd concentration of rice seed was still higher than critical level (0.4 mg/kg).

In first year-field study, paddy rice had been planted on the Cd-contaminated area by using randomized complete block design (RCBD) with four treatments, considering as Cd-dissolution suppressing agents, plus five replications. The treatments of this study included control, 2700 kg/rai MgO, 1600 kg/rai rock phosphate with phosphate-solubilizing biofertilizer, and 4800 kg/rai rock phosphate with 480 kg/rai triple superphosphate fertilizer. The study showed that the highest concentration of Cd in all parts of paddy rice planted was under control treatment in which the concentration of Cd in rice seed was approximately 2.52 mg/kg. This study also indicated that 2700 kg/rai MgO was the most effective treatment in order to reduce Cd accumulation in rice seed (1.55 mg/kg). However, the concentration of Cd in rice seed was still above the acceptable level.

In second year-field study, paddy rice had been planted on the Cd-contaminated area located near to the first year study. This experiment was conducted by using RCBD with 5 treatments plus four replications. Treatments were conducted by addition of various amounts of MgO, namely 1350, 2700, 4050 and 5400 kg/rai. This study indicated that straw, root and seed of rice planted under various addition of MgO contained significantly lower concentration of Cd than those under control treatment. This study, in addition, showed that addition of 1350 kg/rai MgO provided the lowest concentration of Cd accumulated in rice seed (1.39 mg/kg). However, the concentration of Cd in rice seed was also above the critical level.

In conclusion, this research demonstrated that Cd-dissolution agent played a crucial rule in reducing Cd accumulated in rice. However, the Cd concentration in all parts of rice, especially seed, was higher than the critical level. Therefore, further research which focuses on finding the most suitable remediation approach is necessary so as to reduce Cd contamination in agricultural products grown in contaminated area, especially paddy rice.

6. คำนำ

ปัญหาเรื่องมลพิษหรือการปนเปื้อนของโลหะหนักในดิน และผลิตผลทางการเกษตรเป็นประเด็นที่ได้รับความสนใจกันอย่างแพร่หลายทั่วทุกมุมโลก เพราะการปนเปื้อนของโลหะหนัก นอกจากจะมีผลทำให้คุณภาพของดินและน้ำลดลงแล้ว ยังมีผลต่อคุณภาพของผลผลิตพืชที่เป็นอาหาร เนื่องจากธาตุเหล่านี้สามารถเคลื่อนย้ายจากดินไปสะสมที่ผลิตผลได้ ทำให้คุณภาพของผลผลิตพืชที่ปลูกในบริเวณนั้นๆไม่ได้มาตรฐานเพื่อการบริโภคและการส่งออก นอกจากนี้ยังเป็นอันตรายต่อมนุษย์และสัตว์ที่บริโภคผลิตผลหรือน้ำที่มีการปนเปื้อนของโลหะหนัก และประเด็นที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพนี้ได้กลายเป็นข้อกีดกันทางการค้าระหว่างประเทศ จากการสำรวจเบื้องต้นเกี่ยวกับการปนเปื้อนของธาตุโลหะหนักและธาตุกึ่งโลหะในประเทศไทย พบว่า ธาตุแคดเมียม ทองแดง และสังกะสี เป็นโลหะหนักที่สะสมอยู่ในดินและผลผลิตของพืชค่อนข้างสูงอาจมีผลกระทบต่อคุณภาพของดิน (พิชิตและสุรสิทธิ์, 2542) และคุณภาพของผลผลิตพืชที่เป็นอาหาร (Pongsakul et al., 1999) แคดเมียมเป็นโลหะหนักที่จะต้องให้ความสนใจเป็นพิเศษ เนื่องจากเป็นธาตุที่เคลื่อนย้ายจากดินไปสะสมที่ผลิตผลพืชที่เป็นอาหารได้มากกว่าโลหะหนักอื่นๆ จากผลการวิจัยพบว่า ถั่วลิสง ที่ปลูกในแหล่งต่างๆทั่วโลกมักมีแคดเมียมสะสมในผลิตผลมากกว่าระดับความเข้มข้นมาตรฐานที่ยอมรับได้ จึงเป็นพืชที่อาจมีปัญหาต่อการส่งออกเนื่องจากสาเหตุที่มีปริมาณแคดเมียมในผลิตผลมากเกินไป (Zarcinas et al., 1999) นอกจากนี้การปนเปื้อนของแคดเมียมในผลิตผลของพืชก็มีผลมาจากการปนเปื้อนของแคดเมียมในบรรยากาศ จากปุ๋ยประเภทต่างๆ จากการทำเหมืองแร่ และจากกากตะกอนน้ำเสียและวัสดุเหลือใช้ต่างๆ ในหลายประเทศรวมทั้งออสเตรเลียและนิวซีแลนด์ได้มีการกำหนดระดับ

ความเข้มข้นที่ยอมรับได้ของแคดเมียมในอาหารโดยพิจารณาจากความเข้มข้นในดินที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์และเป็นพิษต่อพืช (Imray and Langley, 1996) สารปนเปื้อนซึ่งเป็นวัสดุอนินทรีย์เช่นโลหะหนักต่างๆ สลายตัวไม่ได้และยังคงสะสมอยู่ในดินเป็นเวลานาน ไม่เหมือนกับสารปนเปื้อนที่เป็นวัสดุอินทรีย์ที่สลายตัวได้ ดังนั้นการแก้ไขการปนเปื้อนของโลหะหนักในดินอาจทำได้โดยการเคลื่อนย้ายออกไปจากพื้นที่โดยใช้พืชที่สะสมโลหะหนักได้ในปริมาณสูงมาก (phytoremediation) หรือทำให้โลหะหนักมีความเสถียร (stabilization) ในดิน ซึ่งอยู่ในรูปที่พืชไม่สามารถดูดใช้ได้ จากผลงานวิจัยพบว่า การใช้หินฟอสเฟต ปุ๋ยเคมีฟอสเฟต (triple superphosphate) หรือ ปุ๋ยหมัก มีประสิทธิภาพสามารถลดการละลายของ แคดเมียม ตะกั่ว และสังกะสี (Brown et al., 2004; Pierzynski and Hettiarachchi, 2002) นอกจากนี้ยังมีวัสดุหลายชนิด เช่น Apaties Zeolite Iron and manganese oxides ที่มีศักยภาพช่วยลดการดูดซึมของแคดเมียมโดยพืช เนื่องจากจะไปลดการละลายของแคดเมียมในดิน โดยทำให้แคดเมียมตกตะกอน หรือถูกดูดซับอยู่กับอนุภาคดิน (Chen, et al., 2000) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่ญี่ปุ่นเมื่อใช้แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) อัตรา 2,250 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ สามารถลดการดูดซึมแคดเมียมของข้าวที่ปลูกในพื้นที่ที่ปนเปื้อนแคดเมียม ทำให้เมล็ดข้าวปลอดภัยจากการปนเปื้อนของแคดเมียม ดังนั้นการใช้ แมกนีเซียมออกไซด์จึงเป็นแนวทางหนึ่งในการลดปัญหาการปนเปื้อนของแคดเมียมในพื้นที่ปลูกข้าว (Kikuchi et al., 2008)

เกณฑ์ที่จะใช้ในการประเมินคุณภาพดิน จะเกี่ยวข้องกับการปนเปื้อนของโลหะหนัก สารเคมีตกค้าง และความผันแปรของสมบัติดินทางเคมี ชีวภาพและกายภาพ (Jordan et al., 1995; Milton et al., 2002) ซึ่งหลายประเทศได้ดำเนินการค้นคว้าและพัฒนาหาแนวทางที่จะประเมินคุณภาพดิน ที่มีผลกระทบต่อความยั่งยืนของการเกษตร เพื่อการผลิตพืชที่เป็นอาหารในรูปแบบต่างๆ ดังนั้นการวิจัยถึงผลกระทบของการเกิดมลพิษเนื่องจากการปนเปื้อนของโลหะหนักหรือธาตุกึ่งโลหะที่มีต่อคุณภาพของดินและผลิตผลทางการเกษตร ตลอดจนศึกษาวิธีการที่แก้ไขพื้นที่ที่ปนเปื้อน จะเป็นกลยุทธ์หนึ่งที่จะสามารถใช้ในการป้องกันและหลีกเลี่ยงการเสื่อมโทรมของดินที่เกิดขึ้นเนื่องจากการปนเปื้อนของโลหะหนัก ธาตุกึ่งโลหะ ซึ่งข้อมูลจากการวิจัยนี้ จะเป็นประโยชน์ต่อการปรับปรุงแก้ไขความเสื่อมโทรมของดินและคุณภาพของผลผลิตพืชจากการปนเปื้อนของโลหะหนัก ตลอดจนเป็นข้อมูลให้รัฐบาลนำไปใช้กำหนดมาตรการ เฝ้าระวัง ป้องกันและแก้ไขที่เหมาะสม นอกจากนี้ยังเป็นการเตรียมพร้อมสำหรับการเจรจาในทางการค้าของโลก เนื่องจากในปัจจุบันการปนเปื้อนของโลหะหนัก ในผลผลิตการเกษตรถือเป็นประเด็นสำคัญ ที่นำมาเป็นข้อกีดกันทางการค้า

ดังนั้นการจัดการด้านธาตุอาหารพืช ดิน ปุ๋ย และโลหะหนัก ที่มีความเฉพาะเจาะจงกับลักษณะดิน ควรได้รับการวิจัยอย่างเป็นระบบและมีการรวบรวมเป็นฐานข้อมูลที่สามารถนำไปปรับประยุกต์ใช้ใน การพัฒนาการผลิตทางการเกษตรที่มีประสิทธิภาพ พร้อมทั้งก่อให้เกิดความมั่นคงทางด้านอาหาร (Food Security) ต่อไป

วัตถุประสงค์

เพื่อให้ได้วิธีการปรับปรุงและบำบัดดินที่ปนเปื้อนจากแคดเมียม

ผลที่คาดว่าจะได้รับ

แนวทางปฏิบัติในการแก้ไขและบำบัดดินที่ปนเปื้อนจากโลหะหนัก โดยวิธีการใช้สารยับยั้งการละลาย

7. วิธีดำเนินการ

7.1 อุปกรณ์

1) ปุ๋ยเคมี ได้แก่ ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) ปุ๋ยสูตร 16-20-0 และ 0-46-0

2) วัสดุปรับปรุงดิน: หินฟอสเฟต แมกนีเซียมออกไซด์

3) ถุงกระดาษ ถุงพลาสติก ถุงตาข่ายขนาด 50x75 เซนติเมตร ใช้สำหรับเก็บตัวอย่างพืชและดิน

4) อุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่างดิน เช่น จอบ พลั่วมือ กระบอกเก็บดิน

5) สารเคมีและวัสดุวิทยาศาสตร์ เช่น กรดไนตริก กรดซัลฟิวริก กรดไฮโดรคลอริก แอมโมเนียม-อะซีเทต เฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต โพแทสเซียมไดโครเมต สารละลายมาตรฐานแคดเมียม ตะกั่ว ทองแดง เหล็ก และ สังกะสี

6) เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ เช่น หลอดแก้วสำหรับย่อยตัวอย่างดินและพืช บีกเกอร์แก้วและพลาสติก หลอดพลาสติกสำหรับเครื่องเหวี่ยง (centrifuge tube) เครื่องเหวี่ยง (centrifuge) เครื่องวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก (ICP-OES)

7) แก๊สอาร์กอนและไนโตรเจน ที่ใช้กับเครื่องวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก (ICP-OES)

8) เครื่องย่อยตัวอย่างดินและพืช

7.2 วิธีการ

7.2.1 แผนการทดลอง

การทดลองแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ทดลองในห้องปฏิบัติการ วางแผนการทดลองแบบ CRD 6 กรรมวิธี 3 ซ้ำ และ ทดลองในโรงเรือน วางแผนการทดลองแบบ RCB 10 กรรมวิธี 3 ซ้ำ การทดลองในแปลงปีที่ 1 วางแผนการทดลองแบบ RCBD 5 ซ้ำ 4 กรรมวิธี การทดลองในแปลงปีที่ 2 วางแผนการทดลองแบบ RCBD 4 ซ้ำ 5 กรรมวิธี

7.2.2 กรรมวิธีและวิธีปฏิบัติการทดลอง

<u>1) ทดลองในห้องปฏิบัติการ</u> เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารยับยั้งการละลายแต่ละชนิด เก็บตัวอย่างดินจากพื้นที่มีการปนเปื้อนโลหะหนักมาบ่มดินกับสารยับยั้งการละลาย วางแผนการทดลองแบบ CRD 6 กรรมวิธี 3 ซ้ำ ประกอบด้วย

กรรมวิธีที่ 1) กรรมวิธีควบคุม

กรรมวิธีที่ 2) หินฟอสเฟตอัตรา 1,600 กิโลกรัมต่อไร่

กรรมวิธีที่ 3) ปุ๋ยทริบเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตอัตรา 144 กิโลกรัมต่อไร่

กรรมวิธีที่ 4) แมกนีเซียมออกไซด์อัตรา 900 กิโลกรัมต่อไร่

กรรมวิธีที่ 5) หินฟอสเฟตอัตรา 1,600 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต

กรรมวิธีที่ 6) หินฟอสเฟตร่วมกับปุ๋ยทริบเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตอัตราส่วน 1 ต่อ 10 โดยใช้หินฟอสเฟต 1,600 กิโลกรัมต่อไร่ บ่มดินที่ระดับความชื้นประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ของค่า WHC ระยะเวลา 40 วัน เลือกกรรมวิธีที่ยับยั้งการละลายแคดเมียมได้ดี ไปทดสอบในโรงเรือนต่อไป

2) การทดลองในโรงเรือน โดยนำดินนำดินที่ปนเปื้อนแคดเมียมจากอำเภอแม่สอดมาปลูกข้าวในกระถาง วางแผนการทดลองแบบ CRD 10 กรรมวิธี 3 ซ้ำ ประกอบด้วย

กรรมวิธีที่ 1) กรรมวิธีควบคุม

กรรมวิธีที่ 2) MgO อัตรา 900 กก./ไร่

กรรมวิธีที่ 3) MgO อัตรา 1,800 กก./ไร่

กรรมวิธีที่ 4) MgO อัตรา 2,700 กก./ไร่

กรรมวิธีที่ 5) หินฟอสเฟตอัตรา 1,600 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต

กรรมวิธีที่ 6) หินฟอสเฟตอัตรา 3,200 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต

กรรมวิธีที่ 7) หินฟอสเฟตอัตรา 4,800 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต

กรรมวิธีที่ 8) หินฟอสเฟตอัตรา 1,600 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับร่วมกับทริบเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต 160 กก./ไร่

กรรมวิธีที่ 9) หินฟอสเฟตอัตรา 3,200 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับร่วมกับทริบเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต 320 กก./ไร่

กรรมวิธีที่ 10) หินฟอสเฟตอัตรา 4,800 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับร่วมกับทริบเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต 480 กก./ไร่

ทำการบ่มดินในกระถางก่อนปลูกข้าวด้วยสารยับยั้งการละลายตามกรรมวิธีทดลองเป็นเวลา 30 วัน เพาะเมล็ดข้าวพันธุ์ กข.43 เมื่ออายุ 14 วันย้ายมาปักดำในกระถางๆละ 3 ต้น โดยใส่ปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำของกรมการข้าว เก็บเกี่ยวผลผลิตข้าว เก็บตัวอย่างเมล็ด ต้นข้าว ราก และดินในกระถาง มาวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียม คัดเลือกกรรมวิธีที่เหมาะสมไปทดลองในแปลง

3) การทดลองในแปลงทดลองปีที่ 1 คัดเลือกแปลงทดลอง ที่ อ.แม่สอด จ. ตาก ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีปัญหาการปนเปื้อนของแคดเมียมเพื่อทดลองปลูกข้าว ซึ่งอยู่ในพิกัด UTM 47Q 0457165 1843060 วางแผนการทดลองแบบ RCBD 4 กรรมวิธี 5 ซ้ำ ประกอบด้วย

กรรมวิธีที่ 1) กรรมวิธีควบคุม

กรรมวิธีที่ 2) MgO 2,700 กก./ไร่

กรรมวิธีที่ 3) หินฟอสเฟต 1,600 กก./ไร่+ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต

กรรมวิธีที่ 4) หินฟอสเฟต 4,800 กก./ไร่+ทริบเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต 480 กก./ไร่

เก็บตัวอย่างดินที่ความลึก 0-30 ซม.เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในดินก่อนทดลอง เพาะเมล็ดข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ซึ่งเป็นข้าวไวตอแสง เกษตรกรในพื้นที่นิยมปลูก เตรียมแปลงทดลอง ใส่วัสดุยับยั้งการละลายโลหะหนักตามกรรมวิธี บ่มดินไว้เป็นเวลา 2 สัปดาห์ รักษาความชื้นในดินไม่ให้ดินแห้งจนเกินไป แล้วย้ายต้นกล้าอายุ 1 เดือนที่เตรียมไว้มาปลูกในแปลงทดลอง ระยะปลูก 25 x 25 ซม. โดยใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0 อัตรา 25 กก./ไร่ ตามคำแนะนำก่อนปักดำ 1 วัน เมื่อข้าวอายุ 60 วัน วัดความสูง และการแตกกอ เก็บเกี่ยวผลผลิตข้าว เก็บตัวอย่างผลผลิตข้าว ดินมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

หลังเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าว ปลูกถั่วเหลือง โดยให้น้ำชลประทาน ไม่ใส่สารยับยั้งการละลายและไม่ใส่ปุ๋ยบำรุงเก็บตัวอย่างผลผลิตถั่วเหลืองจากแปลงทดลอง มาวิเคราะห์ในหาปริมาณแคดเมียม

4) การทดลองในแปลงทดลองปีที่ 2 คัดเลือกแปลงทดลอง ที่ อ.แม่สอด จ. ตาก ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีปัญหาการปนเปื้อนของโลหะหนัก เป็นบริเวณใกล้เคียงกับการทดลองในแปลงปีที่1 เพื่อทดลองปลูกข้าว คัดเลือกกรรมวิธีจากการทดลองในแปลงปีที่1 วางแผนการทดลองแบบ RCBD 5 กรรมวิธี 4 ซ้ำ ประกอบด้วย

กรรมวิธีที่ 1) กรรมวิธีควบคุม

กรรมวิธีที่ 2) MgO 1,350 กก./ไร่

กรรมวิธีที่ 3) MgO 2,700 กก./ไร่

กรรมวิธีที่ 4) MgO 4,050 กก./ไร่

กรรมวิธีที่ 5) MgO 5,400 กก./ไร่

วิธีการปฏิบัติเหมือนการทดลองในแปลงปีที่1 แต่ไม่ได้ปลูกถั่วเหลืองหลังเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าว

7.2.3 การบันทึกข้อมูล

1) ข้อมูลภาคสนาม: วันปลูก วันเก็บเกี่ยว ผลผลิต พิกัดทางภูมิศาสตร์

2) ข้อมูลห้องปฏิบัติการ: ผลวิเคราะห์ดินทางเคมี เช่น ปริมาณโลหะหนักทั้งหมดและปริมาณโลหะหนักในรูปที่พืชสามารถดูดดึงได้ (extractable form) ผลวิเคราะห์แคดเมียมในรูปต่างๆ เช่น รูปที่แลกเปลี่ยนได้ รูปที่พืชสามารถดูดใช้ได้ ปริมาณอินทรียวัตถุ ความเป็นกรดเป็นด่างและฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ผลวิเคราะห์ทางกายภาพ เช่น เนื้อดิน ผลวิเคราะห์พืช เช่น ปริมาณของโลหะหนักที่สะสมในผลผลิต

7.2.4 การวิเคราะห์ข้อมูล: นำเข้าข้อมูล ปริมาณแคดเมียมที่สกัดได้กับอัตราสารปรับปรุงดินเพื่อประเมินประสิทธิภาพของสารยับยั้งการละลาย ปริมาณแคดเมียมในผลผลิต วิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางด้านสถิติโดยใช้ analysis of variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแต่ละตำรับการทดลองโดยใช้ least significant difference สรุปผลและเขียนรายงาน

7.2.5 ระยะเวลา เดือนตุลาคม 2554 – กันยายน 2558

สถานที่ดำเนินการ ห้องปฏิบัติการกลุ่มงานวิจัยเคมีดิน กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร และพื้นที่ปนเปื้อนแคดเมียม อ.แม่สอด จ.ตาก

8. ผลการทดลองและวิจารณ์

การทดลองในห้องปฏิบัติการ

สมบัติดินก่อนทดลอง ดินบนมีเนื้อดินเป็นดินเหนียวปนร่วน ค่าปฏิกิริยาดินเป็นด่างอ่อน (pH 7.4) ปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ในระดับสูง (43 g/kg) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และ ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับสูง เท่ากับ 30 และ 145 mg kg^{-1} ปริมาณแคดเมียมทั้งหมด รูปที่แลกเปลี่ยนได้ และรูปที่พืชนำไปใช้ได้ในปริมาณที่สูงเกินมาตรฐานคือเท่ากับ 119 7 และ 22 mg/ kg (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 สมบัติทางกายภาพและเคมีของชุดดินก่อนทดลอง

สมบัติของดิน	ค่าวิเคราะห์ดิน
Texture	Clay loam
pH (1:1)	7.4
OM (g/ kg)	43
Avail.P (mg/kg)	30
Exch.K (mg/kg)	145
Total Cd(mg/kg)	119
Exch.Cd (mg/kg)	7
Avai.Cd (mg/kg)	22

ผลการทดลอง จากการบ่มดินที่มีการปนเปื้อนแคดเมียมด้วยสารยับยั้งการละลายชนิดต่างๆเป็นเวลา 40 วัน พบว่าปริมาณแคดเมียมรูปที่แลกเปลี่ยนได้และรูปที่พืชสามารถดูดไปใช้ได้มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการใช้แมกนีเซียมออกไซด์อัตรา 900 กิโลกรัมต่อไร่มีปริมาณแคดเมียมทั้งสองรูปน้อยกว่ากรรมวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สอดคล้องกับการรายงานของ Kikuchi et al. (2008) ที่พบว่า แมกนีเซียมออกไซด์สามารถลดการปนเปื้อนแคดเมียมในดินได้ ส่วนกรรมวิธีอื่นแม้ว่าจะมีปริมาณแคดเมียมรูปที่พืชดูดใช้ได้ไม่ต่างทางสถิติจากกรรมวิธีควบคุมแต่ก็มีแนวโน้มลดลงจึงทำการคัดเลือกไปทดลองในสภาพโรงเรือนและเพิ่มความเข้มข้นของสารยับยั้งการละลายขึ้น

ตารางที่ 2 ปริมาณแคดเมียมหลังจากบ่มดินด้วยสารยับยั้งการละลายนาน 40 วัน

กรรมวิธี	ปริมาณแคดเมียม (mg/kg)	
	รูปที่แลกเปลี่ยนได้	รูปที่พืชสามารถดูดใช้ได้
ไม่ใส่สารยับยั้งการละลาย (control)	5.70 b	20.11 b
หินฟอสเฟต	5.95 c	20.29 b
ปุ๋ยทริบเปิ้ลซูเปอร์ฟอสเฟต	5.69 b	20.31 b
แมกนีเซียมออกไซด์	4.58 a	16.91 a
หินฟอสเฟต + ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต	5.68 b	19.69 b
หินฟอสเฟต + ปุ๋ยทริบเปิ้ลซูเปอร์ฟอสเฟต	5.87 c	19.60 b

F-test	**	*
CV (%)	1.50	2.05

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

การทดลองในโรงเรือน

<u>สมบัติดินก่อนทดลอง</u> ดินบนมีเนื้อดินเป็นดินเหนียวปนร่วน ค่าปฏิกิริยาดินเป็นด่างอ่อน (pH 7.7) ปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ในระดับสูง (42 g/kg) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับปานกลาง และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับสูง เท่ากับ 20 และ 136 mg/kg ปริมาณแคดเมียมทั้งหมด รูปที่แลกเปลี่ยนได้ และรูปที่พืชสามารถดูดใช้ได้ในปริมาณที่สูงเกินมาตรฐานเท่ากับ 107 9 และ 31 mg/kg (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 สมบัติทางกายภาพและเคมีของดินก่อนทดลองในโรงเรือน

สมบัติของดิน	ค่าวิเคราะห์ดิน
Texture	Clay loam
pH (1:1)	7.7
OM (g/ kg)	42
Avail.P (mg/kg)	20
Exch.K (mg/kg)	136
Total Cd(mg/kg)	107
Exch.Cd (mg/kg)	9
Avai.Cd (mg/kg)	31

<u>สมบัติดินหลังบ่ม</u> ผลการทดลองพบว่า ปริมาณ Cd รูปที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ขณะที่รูปที่พืชสามารถดูดไปใช้ได้มีค่าต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ในกรรมวิธี MgO อัตรา 1,800 และ 2,700 กก./ไร่ มีค่าต่ำกว่ากรรมวิธีควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ มีค่าเท่ากับ 21.75 และ 19.25 mg/kg ขณะที่กรรมวิธีอื่นปริมาณแคดเมียมรูปที่พืชสามารถดูดใช้ได้ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับกรรมวิธีควบคุม (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 ปริมาณแคดเมียมหลังบ่มดินในกระถาง 30 วันก่อนปลูกข้าว

กรรมวิธี	ปริมาณแคดเมียม (mg/kg)	
	รูปที่แลกเปลี่ยนได้	รูปที่พืชสามารถดูดใช้ได้
control	5.94	24.96 cd
MgO 900 กก./ไร่	6.09	22.31 bc
MgO 1,800 กก./ไร่	6.31	21.75 b
MgO 2,700 กก./ไร่	5.41	19.25 a
RP 1,600 กก./ไร่+ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต	6.54	24.44 cd
RP 3,200 กก./ไร่+ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต	6.28	24.83 cd

RP 4,800 กก./ไร่+ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต	6.23	24.84 cd
RP+TSP 1,600+160 กก./ไร่	6.23	25.96 d
RP+TSP 3,200+ 320 กก./ไร่	6.19	26.54 d
RP+TSP 4,800+480 กก./ไร่	5.90	25.52 d
Average	6.11	24.04
F-test	ns	**
CV (%)	7.02	6.03

หมายเหตุ ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

<u>ความสูงและผลผลิตข้าว</u> จากการทดลองพบว่า ความสูงของต้นข้าวระยะเก็บเกี่ยว และน้ำหนักแห้งผลผลิตต่อกระถาง มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยเฉลี่ยเท่ากับ 102 เซนติเมตร และ 18.35 กรัม ตามลำดับ กรรมวิธี MgO 1,800 กก./ไร่มีแนวโน้มผลผลิตต่อกระถางสูงสุด คือเท่ากับ 21.66 กรัมต่อกระถาง (ตารางที่ 5) จะเห็นได้ว่าความสูงของต้นข้าวแต่ละกรรมวิธีไม่แตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่าปริมาณแคดเมียมในดินไม่ส่งผลต่อความสูงของข้าว เช่นเดียวกับรายงานของพิชิต (2545) พบว่าข้าวที่ปลูกในบริเวณที่มีการปนเปื้อนแคดเมียมไม่แสดงอาการผิดปกติทางลำต้นและใบให้เห็นด้วยตาเปล่า

ตารางที่ 5 ความสูงของต้นข้าวระยะเก็บเกี่ยวและผลผลิต

กรรมวิธี	ความสูง (ซม.)	ผลผลิต/กระถาง (กรัม)
control	105	17.94
MgO 900 กก./ไร่	104	18.73
MgO 1,800 กก./ไร่	101	21.66
MgO 2,700 กก./ไร่	100	19.70
RP 1,600 กก./ไร่+ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต	102	17.15
RP 3,200 กก./ไร่+ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต	102	18.18
RP 4,800 กก./ไร่+ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต	103	18.73
RP+TSP 1,600+160 กก./ไร่	102	17.03
RP+TSP 3,200+ 320 กก./ไร่	101	17.21
RP+TSP 4,800+480 กก./ไร่	101	17.18
Average	102	18.35
F-test	NS	NS
CV (%)	4.00	15

หมายเหตุ ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

<u>แคดเมียมในผลผลิตข้าว</u> ผลการทดลองพบว่าการใส่สารยับยั้งการละลายมีผลทำให้ปริมาณแคดเมียมในฟางข้าว เมล็ด และแกลบมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกรรมวิธี MgO 2,700 กก./ไร่ มีแนวโน้มแคดเมียมน้อยกว่ากรรมวิธีอื่นอย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะในเมล็ดซึ่งเป็นส่วนที่นำไปใช้เป็นอาหารแต่ยังสูงกว่าค่ามาตรฐาน CODEX (ตารางที่ 6) ขณะที่กรรมวิธีใส่หินฟอสเฟตประสิทธิภาพการยับยั้งการละลายแคดเมียมน้อยสอดคล้องกับการรายงานของ Zhang et al (2009) พบว่าหินฟอสเฟตเพื่อลดความเข้มข้นของ Cu Zn Pb และ Cd ในดินได้เพียงเล็กน้อย

ตารางที่ 6 ปริมาณแคดเมียมในผลผลิตข้าว

กรรมวิธี	ปริมาณแคดเมียม (mg/kg)			
	ฟางข้าว	ราก	เมล็ดข้าวสาร	แกลบ
control	16.72 d	133	3.396 e	1.59 b
MgO 900 กก./ไร่	8.07 abc	65	1.836 bc	1.59 b
MgO 1,800 กก./ไร่	6.19 ab	87	1.162 ab	0.61 a
MgO 2,700 กก./ไร่	3.87 a	43	0.847 a	0.50 a
RP 1,600 กก./ไร่+ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต	11.14 abcd	98	2.554 cd	1.99 b
RP 3,200 กก./ไร่+ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต	13.13 bcd	123	2.573 cd	2.48 b
RP 4,800 กก./ไร่+ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต	15.28 bc	132	2.029 c	1.70 b
RP+TSP 1,600+160 กก./ไร่	16.66 d	139	3.167 de	2.45 b
RP+TSP 3,200+ 320 กก./ไร่	17.07 d	153	2.303 c	1.60 b
RP+TSP 4,800+480 กก./ไร่	12.29 bcd	185	2.586 cd	1.74 b
ค่ามาตรฐาน CODEX	-	-	0.4	-
F-test	*	ns	**	**
CV (%)	36.30	47.49	19.00	32.23

หมายเหตุ ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

<u>ปริมาณแคดเมียมในดินหลังปลูกข้าว</u> จากการทดลองพบว่าปริมาณแคดเมียมรูปที่แลกเปลี่ยนได้ในดินหลังปลูกข้าวในสภาพโรงเรือนมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยทุกกรรมวิธี มีค่าน้อยกว่ากรรมวิธีควบคุม โดยกรรมวิธี RP+TSP 3,200+ 320 กก./ไร่ มีแนวโน้มน้อยกว่ากรรมวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือเท่ากับ 2.94 mg/kg ขณะที่กรรมวิธีควบคุมมีค่าสูงสุด คือเท่ากับ 8.40 mg/kg ขณะที่ปริมาณแคดเมียมรูปที่พืชสามารถดูดใช้ได้แต่ละกรรมวิธีไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยกรรมวิธี RP 4,800 กก./ไร่+ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต มีแนวโน้มต่ำสุดคือเท่ากับ 13.01 mg/kg (ตารางที่ 7)

ตารางที่ 7 ปริมาณแคดเมียมในดินหลังปลูกข้าว

กรรมวิธี	ปริมาณแคดเมียม (mg/kg)	
	รูปที่แลกเปลี่ยนได้	รูปที่พืชสามารถดูดใช้ได้
control	8.40 b	13.59
MgO 900 กก./ไร่	7.42 b	13.20
MgO 1,800 กก./ไร่	4.92 a	14.43
MgO 2,700 กก./ไร่	3.70 a	15.58
RP 1,600 กก./ไร่+ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต	3.95 a	14.33
RP 3,200 กก./ไร่+ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต	3.40 a	17.22
RP 4,800 กก./ไร่+ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต	3.05 a	13.01
RP+TSP 1,600+160 กก./ไร่	3.99 a	14.59
RP+TSP 3,200+ 320 กก./ไร่	2.94 a	16.02
RP+TSP 4,800+480 กก./ไร่	3.30 a	14.59
Average	4.57	14.66
F-test	**	ns

CV (%)	23.27	18.28

หมายเหตุ ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

การทดลองในแปลงปีที่ 1 (2556)

สมบัติดินก่อนปลูก เก็บตัวอย่างดินที่ความลึก 0-30 ซม.เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในดินก่อนทดลอง ผลการวิเคราะห์ดินพบว่ามีค่าปฏิกิริยาดินเป็นด่างอ่อน (pH 7.8) ปริมาณอินทรียวัตถุสูง 40 (mg/kg) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และ ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับสูง เท่ากับ 22 และ 145 172 mg/kg ปริมาณแคดเมียมทั้งหมด รูปที่แลกเปลี่ยนได้ และรูปที่พืชนำไปใช้ได้ในปริมาณที่สูงเกินมาตรฐานคือ เท่ากับ 83 8.56 และ 28 mg/kg ตามลำดับ (ตารางที่ 8)

ตารางที่ 8 สมบัติทางกายภาพและเคมีของดินก่อนทดลอง

สมบัติของดิน	ค่าวิเคราะห์ดิน
Texture	Clay loam
pH (1:1)	7.81
OM (g/ kg)	40
Avail.P (mg/kg)	22
Exch.K (mg/kg)	172
Total Cd(mg/kg)	83
Exch.Cd (mg/kg)	8.56
Avai.Cd (mg/kg)	27.65

<u>การเจริญเติบโตของข้าว</u>

เมื่อข้าวอายุ 60 วัน วัดความสูง และการแตกกอ พบว่า แต่ละกรรมวิธีความสูงไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีความสูงเฉลี่ย 106 ซม. ส่วนการแตกกอ พบว่า การใส่สารยับยั้งการละลายโลหะหนักมีผลทำให้ข้าวมีการแตกกอต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกรรมวิธี MgO 2,700 กก./ไร่ มีการแตกกอสูงสุด เท่ากับ 10.20 ต้น

ต่อกอ ส่วนกรรมวิธีหินฟอสเฟต 4,800 กก./ไร่+ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต มีการแตกกอน้อยที่สุด มีค่าเท่ากับ 9.08 ต้นต่อกอ (ตารางที่ 9)

ตารางที่ 9 ความสูง และการแตกกอข้าว เมื่ออายุ 60 วัน

กรรมวิธี	ความสูง (ซม.)	การแตกตอ(ต้น/กอ)
control	106	9.92 ab
MgO 2,700 กก./ไร่	106	10.20 a
RP 4,800 กก./ไร่+ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต	104	9.08 b
RP+TSP 4,800+480 กก./ไร่	106	9.46 ab
Average	106	9.67
F-test	NS	*
CV (%)	3.19	6.34

หมายเหตุ ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

<u>ผลผลิตข้าว</u> จากการทดลองพบว่าการใส่สารยับยั้งการละลายแต่ละชนิดมีผลทำให้ผลผลิตข้าวไม่แตกต่างกันทางสถิติ แสดงให้เห็นว่าสารยับยั้งการละลายที่ใส่ไม่มีผลทำให้ผลผลิตข้าวลดลง โดยกรรมวิธี MgO 2,700 กก./ไร่ มีแนวโน้มผลผลิตข้าวที่ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์สูงสุดคือเท่ากับ 1,171 กก./ไร่ ขณะที่กรรมวิธีควบคุมมีผลผลิตต่ำสุดคือเท่ากับ 1,058 กก./ไร่ (ตารางที่ 10)

ตารางที่ 10. ผลผลิตข้าวที่ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์

กรรมวิธี	น้ำหนักเมล็ด (กก./ไร่)
control	1,058
MgO 2,700 กก./ไร่	1,171
RP 4,800 กก./ไร่+ปุ๋ยชีวภาพละลาฟอสเฟต	1,078
RP+TSP 4,800+480 กก./ไร่	1,072
Average	1,095
F-test	ns
CV (%)	6.34

หมายเหตุ ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ปริมาณแคดเมียมในผลผลิตข้าว

ผลการทดลองพบว่าการใส่สารยับยั้งการละลายมีผลทำให้ปริมาณแคดเมียมในฟางข้าว ราก เมล็ด และแกลบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ กรรมวิธี MgO 2,700 กก./ไร่ มีปริมาณน้อยแคดเมียมในเมล็ดน้อยที่สุด คือเท่ากับ 1.55 mg/ kg แต่ยังสูงกว่าค่ามาตรฐานCODEX ขณะที่กรรมวิธีควบคุมปริมาณแคดเมียมในส่วนประกอบต่างๆของข้าวสูงที่สุด โดยในเมล็ดมีค่า เท่ากับ 2.52 mg/ kg ส่วนกรรมวิธีใส่ปุ๋ยฟอสเฟต ทั้งในรูปหินฟอสเฟต และ ปุ๋ยทริบเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต ต่างมีผลทำให้แคดเมียมในส่วนต่างๆ ของข้าวลดลง (ตารางที่ 11) เนื่องปุ๋ยฟอสเฟตมีผลต่อสมบัติดินเช่น pH และประจุพื้นผิวซึ่งมีผลต่อประจุโลหะหนักในดิน การใส่ปุ๋ยฟอสเฟตทำให้ประจุบวกลดลง ประจุลบเพิ่มขึ้นเป็นการเพิ่มค่า CEC ในดินนั้นเอง (Sawhney, 1974; Zhao and Zhang, 1997) ทำให้ดูดซับโลหะหนักได้ดีขึ้น (Kuo and McNeal, 1984)

ตารางที่ 11 ปริมาณแคดเมียมในผลผลิตข้าว

กรรมวิธี	ปริมาณแคดเมียม (mg/kg)			
	ฟางข้าว	ราก	เมล็ด	แกลบ
control	7.14 b	67.00 b	2.52 b	1.06 b
MgO 2,700 กก./ไร่	4.73 a	45.35 a	1.55 a	0.67 ab
RP 4,800 กก./ไร่+ปุ๋ยชีวภาพละลาฟอสเฟต	5.86 ab	59.41 ab	1.84 a	0.99 ab
RP+TSP 4,800+480 กก./ไร่	4.11 a	55.76 ab	1.63 a	0.58 a
ค่ามาตรฐาน CODEX	-	-	0.4	-
F-test	*	*	**	*
CV (%)	29.44	18.53	17.59	33.78

หมายเหตุ ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

ปริมาณแคดเมียมในดินก่อนและหลังทดลอง พบว่าแคดเมียม รูปที่พืชสามารถดูดไปใช้ได้ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 12) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังการทดลองพบว่า ปริมาณแคดเมียมที่พืชสามารถดูดใช้ได้มีค่าลดลงประมาณ 17 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 12 ปริมาณแคดเมียมรูปที่พืชสามารถดูดไปใช้ในดินก่อนและหลังทดลอง (mg/kg)

กรรมวิธี	ก่อนทดลอง	หลังทดลอง
control	27.65	23.09
MgO 2,700 กก./ไร่	27.65	21.56
RP 4,800 กก./ไร่+จุลินทรีย์	27.65	24.07
RP+TSP 4,800+480 กก./ไร่	27.65	23.14

F-test	-	ns
CV (%)	-	13.62

หมายเหตุ ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

<u>แคดเมียมในผลผลิตถั่วเหลือง</u>

ปริมาณแคดเมียมในเมล็ดถั่วเหลืองที่ปลูกในแปลงหลังเก็บเกี่ยวข้าว พบว่ากรรมวิธีที่ไม่ใส่สารยับยั้งการละลายตอนปลูกข้าวมีค่าสูงกว่ากรรมวิธีที่ใส่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่โดยเฉลี่ยแล้วทุกกรรมวิธีมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐาน CODEX (0.1 mg/kg) (ตารางที่ 13)

ตารางที่ 13. ปริมาณแคดเมียมในเมล็ดถั่วเหลือง

กรรมวิธีที่ใส่ตอนปลูกข้าว	แคดเมียม (mg/kg)
control	1.851 b
MgO 2,700 กก./ไร่	1.576 a
RP 4,800 กก./ไร่+จุลินทรีย์	1.667 a
RP+TSP 4,800+480 กก./ไร่	1.599 a
ค่ามาตรฐาน CODEX	0.1
F-test	*
CV (%)	9.26

หมายเหตุ ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

<u>ปริมาณแคดเมียมในดินหลังเก็บผลผลิตถั่วเหลือง</u> รูปที่แลกเปลี่ยนได้และรูปที่พืชสามารถดูดไปใช้ แต่ละกรรมวิธีมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ แคดเมียมรูปที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าอยู่ระหว่าง 4.81-5.87 mg/kg รูปที่พืชสามารถดูดไปใช้ได้มีค่าอยู่ระหว่าง 17.60-22.88 mg/kg (ตารางที่ 14)

ตารางที่ 14. ปริมาณแคดเมียมรูปที่แลกเปลี่ยนได้และรูปที่พืชสามารถดูดไปใช้ในดินหลังปลูกถั่วเหลือง (mg/kg)

กรรมวิธี	รูปที่แลกเปลี่ยนได้	รูปที่พืชสามารถดูดใช้ได้
control	5.02	20.25
MgO 2,700 กก./ไร่	4.54	17.60
RP 4,800 กก./ไร่+จุลินทรีย์	5.87	22.81
RP+TSP 4,800+480 กก./ไร่	4.81	18.70
F-test	ns	ns
CV (%)	16.57	15.55

หมายเหตุ ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

การทดลองในแปลงปีที่ 2 (2557)

สมบัติดินในแปลงทดลองก่อนปลูกข้าว พบว่ามีค่าค่าปฏิกิริยาดินเป็นด่างอ่อน (pH 7.9) ปริมาณอินทรีวัตถุสูง (46 mg/kg) แคดเมียมรูปที่แลกเปลี่ยนได้ รูปที่พืชสามารถดูดไปใช้และรูปทั้งหมดในปริมาณที่สูงเกินมาตรฐาน มีค่าเท่ากับ 6 20 และ 90 mg/kg ตามลำดับ

ตารางที่ 15. สมบัติดินก่อนปลูกข้าวปี 2557

pH (1:1)	Organic matter (mg/kg)	Avai- P (Olsen-P) (mg/kg)	Exch. K (mg/kg)	Exch. Cd (mg/kg)	Avai. Cd (mg/kg)	Total Cd (mg/kg)
7.91	46	76	205	6	20	90

ความสูงของต้นข้าวที่อายุ 1 และ 2 เดือนของแต่ละกรรมวิธีมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ที่อายุ 1 เดือนมีค่าอยู่ระหว่าง 62-69 ซม. ที่อายุ 2 เดือนมีค่าอยู่ระหว่าง 95-100 ซม.

ตารางที่ 16. ความสูงที่อายุ 1 และ 2 เดือน (ซม.)

กรรมวิธี	1 เดือน	2 เดือน
control	69	100
MgO 1,350 กก./ไร่	65	96
MgO 2,700 กก./ไร่	62	95
MgO 4,050 กก./ไร่	62	98
MgO 5,400 กก./ไร่	62	99
F-test	ns	ns
CV (%)	5.30	7.16

หมายเหตุ ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

การแตกกอของต้นข้าวที่อายุ 1 และ 2 เดือนของแต่ละกรรมวิธีมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ที่อายุ 1 เดือน มีค่าอยู่ระหว่าง 12-15 ต้น/กอ ที่อายุ 2 เดือนมีค่าอยู่ระหว่าง 14-16 ต้น/กอ

ตารางที่ 17. ความสูงที่อายุ 1 และ 2 เดือน (ซม.)

กรรมวิธี	1 เดือน	2 เดือน
control	14	14
MgO 1,350 กก./ไร่	15	15
MgO 2,700 กก./ไร่	13	15
MgO 4,050 กก./ไร่	12	15
MgO 5,400 กก./ไร่	12	16
F-test	ns	ns
CV (%)	18.94	20.27

หมายเหตุ ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ผลผลิตข้าว จากการทดลองพบว่าการใส่สารยับยั้งการละลายแต่ละชนิดมีผลทำให้ผลผลิตข้าวไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยกรรมวิธี MgO 1,350 กก./ไร่ มีแนวโน้มผลผลิตข้าวที่ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์สูงสุดคือเท่ากับ 732 กก./ไร่ ขณะที่กรรมวิธี MgO 2,700 กก./ไร่ผลผลิตต่ำสุดคือเท่ากับ 668 กก./ไร่ (ตารางที่ 18)

ตารางที่ 18. ผลผลิตข้าวที่ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์

กรรมวิธี	น้ำหนักเมล็ด (กก./ไร่)
control	710
MgO 1,350 กก./ไร่	732
MgO 2,700 กก./ไร่	668
MgO 4,050 กก./ไร่	717
MgO 5,400 กก./ไร่	731
Average	711
F-test	ns
CV (%)	12.74

หมายเหตุ ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ปริมาณแคดเมียมในผลผลิต

ผลการทดลองพบว่าการใส่สารยับยั้งการละลายมีผลทำให้ปริมาณแคดเมียมในเมล็ดข้าวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ กรรมวิธี MgO ทุกอัตรามีปริมาณแคดเมียมในส่วนฟางข้าว รากและเมล็ดน้อยกว่ากรรมวิธี

ควบคุม อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ แต่ในเมล็ดยังสูงกว่าค่ามาตรฐานCODEX ประสิทธิภาพการยับยั้งการละลายแคดเมียมด้วย MgO เพื่อไม่ให้ข้าวสามารถดูดไปใช้ได้จะต้องมีน้ำขังตลอดการเจริญเติบโต (Tesuro et al., 2008) นอกจากนี้ Tetsuro et al. (2009) และ MgO สามารถลดปริมาณแคดเมียมที่สะสมในเมล็ดข้าวที่ปลูกในที่ลุ่มและข้าวสาลีที่ปลูกหลังจากปลูกข้าวได้ แต่อัตราการใช้ต้องคำนึงถึงความสมดุลของธาตุอาหารอื่นๆด้วยเช่น ปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียม และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Tetsuro et al,.2009) (ตารางที่ 19)

ตารางที่ 19 ปริมาณแคดเมียมในผลผลิตข้าว

กรรมวิธี	ปริมาณแคดเมียม (mg/kg)			
	ฟางข้าว	ราก	เมล็ด	แกลบ
control	8.323 b	72.96 b	2.214 b	1.030 b
MgO 1,350 กก./ไร่	5.708 a	46.47 a	1.385 a	0.815 b
MgO 2,700 กก./ไร่	5.320 a	42.50 a	1.557 a	0.793 b
MgO 4,050 กก./ไร่	4.937 a	37.30 a	1.466 a	0.829 b
MgO 5,400 กก./ไร่	4.675 a	34.41 a	1.416 a	0.462 a
ค่ามาตรฐาน CODEX	-	-	0.4	-
F-test	*	*	**	*
CV (%)	23.81	20.81	13.51	24.80

หมายเหตุ ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

<u>ปริมาณแคดเมียมในดินหลังเก็บผลผลิตข้าว</u> รูปที่แลกเปลี่ยนได้และรูปที่พืชสามารถดูดไปใช้ แต่ละกรรมวิธีมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ แคดเมียมรูปที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าอยู่ระหว่าง 9-11 mg/kg รูปที่พืชสามารถดูดใช้ได้มีค่าอยู่ระหว่าง 24-28 mg/kg (ตารางที่ 20)

ตารางที่ 20 ปริมาณแคดเมียมรูปที่แลกเปลี่ยนได้และรูปที่พืชสามารถดูดไปใช้ในดินหลังปลูกข้าว (mg/kg)

กรรมวิธี	รูปที่แลกเปลี่ยนได้	รูปที่พืชสามารถดูดใช้ได้
control	11	28
MgO 1,350 กก./ไร่	11	26
MgO 2,700 กก./ไร่	11	25

MgO 4,050 กก./ไร่	10	24
MgO 5,400 กก./ไร่	9	24
F-test	ns	ns
CV (%)	28.28	24.70

หมายเหตุ ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ผลการวิเคราะห์แคดเมียมจากผลผลิตในทุกการทดลอง พบว่าในฟางข้าว ราก ยังคงมีปริมาณสูง มีค่าอยู่ระหว่าง 4.11-185 mg/kg เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Simmons et al. (2003) ศึกษาความเข้มข้นของแคดเมียมในต้นข้าวที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียมบริเวณบ้านพะเด๊ะ อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก พบความเข้มข้นแคดเมียมในต้นข้าวอยู่ในช่วง 0.38-22.00 mg/kg จากการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่า ช่วงเวลาที่เปลี่ยนไป ยังคงพบปริมาณแคดเมียมในพื้นที่อยู่ และพืชยังคงสามารถดูดไปสะสมอยู่ในต้นและใบ โดยเฉพาะในวันเก็บเกี่ยวผลผลิตของข้าวขาวดอกมะลิ 105

9. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

ศึกษาการปนเปื้อนของโลหะหนักในดินโดยวิธียับยั้งการละลาย ผลทดลองในห้องปฏิบัติการจากการบ่มดินที่มีการปนเปื้อนแคดเมียมด้วยสารยับยั้งการละลายชนิดต่างๆเป็นเวลา 40 วัน พบว่าปริมาณแคดเมียมรูปที่แลกเปลี่ยนได้และรูปที่พืชสามารถดูดไปใช้ได้มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการใช้แมกนีเซียมออกไซด์อัตรา 900 กิโลกรัมต่อไร่มีปริมาณแคดเมียมทั้งรูปที่แลกเปลี่ยนได้และรูปที่พืชดูดใช้ได้น้อยกว่ากรรมวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

การทดลองในสภาพโรงเรือนโดยปลูกข้าวเป็นพืชทดลอง พบว่า การใส่สารยับยั้งการละลายมีผลทำให้ปริมาณแคดเมียมในฟางข้าว เมล็ด และแกลบมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกรรมวิธี MgO 2,700 กก./ไร่ มีแนวโน้มแคดเมียมน้อยกว่ากรรมวิธีอื่นอย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะในเมล็ดซึ่งเป็นส่วนที่นำไปใช้เป็นอาหารมีค่าเท่ากับ 0.847 mg/kg แต่ยังสูงกว่าค่ามาตรฐานที่ยอมรับได้คือ 0.4 mg/kg

การทดลองในแปลงปีที่ 1 ที่ อ.แม่สอด จ. ตาก ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีปัญหาการปนเปื้อนของแคดเมียม ปลูกข้าวเป็นพืชทดลอง พบว่าการใส่สารยับยั้งการละลายมีผลทำให้ปริมาณแคดเมียมในฟางข้าว ราก เมล็ด และแกลบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ กรรมวิธี MgO 2,700 กก./ไร่ มีปริมาณแคดเมียมในเมล็ดน้อยที่สุด คือเท่ากับ 1.55 mg/kg แต่ยังสูงกว่าค่ามาตรฐานที่ยอมรับได้ ขณะที่กรรมวิธีควบคุมปริมาณแคดเมียมในส่วนประกอบต่างๆของข้าวสูงที่สุด โดยในเมล็ดมีค่าเท่ากับ 2.52 mg/kg

การทดลองในแปลงปีที่ 2 ปลูกข้าวเป็นพืชทดลอง พบว่าการใส่สารยับยั้งการละลายมีผลทำให้ปริมาณแคดเมียมในเมล็ดข้าวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ กรรมวิธี MgO ทุกอัตรามีปริมาณแคดเมียมในส่วนฟางข้าว รากและเมล็ดน้อยกว่ากรรมวิธีควบคุมอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ กรรมวิธี MgO 1,350 กก./ไร่ มีปริมาณแคดเมียมในเมล็ดน้อยที่สุด คือเท่ากับ 1.385 mg/kg แต่ยังสูงกว่าค่ามาตรฐานที่ยอมให้มีได้

จากผลการทดลองข้างต้นจะเห็นว่าใช้สารยับยั้งการละลายสามารถลดการปนเปื้อนแคดเมียมได้ในระดับหนึ่งแต่ผลตกค้างในผลผลิตข้าวยังอยู่ในเกณฑ์ที่สูงกว่าค่ามาตรฐานที่ยอมให้มีได้ จำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมทั้งชนิดของสารยับยั้งการละลาย อัตราการใช้ซึ่งต้องคำนึงถึงสมดุลของธาตุอาหารอื่นๆด้วย เช่นปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียม และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ เพื่อเป็นแนวทางลดการปนเปื้อนของโลหะหนักที่มีผลต่อคุณภาพผลผลิตด้านการเกษตรในพื้นที่ที่มีปัญหาการปนเปื้อนต่อไป

10. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ :

สามารถนำข้อมูลที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้ไปขยายผลเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาวิธีการลดการปนเปื้อนโลหะหนักในพื้นที่ ซึ่งจะเป็นประโยชน์กับนักวิชาการเกษตรของกรมวิชาการเกษตรและหน่วยงานอื่นๆ นำไปใช้ในการพัฒนางานวิจัยด้านดิน ปุ๋ย และสิ่งแวดล้อม เพื่อเป็นแนวทางลดการปนเปื้อนของโลหะหนักที่มีผลต่อคุณภาพผลผลิตด้านการเกษตรในพื้นที่ที่มีปัญหาการปนเปื้อนต่อไป

11. คำขอบคุณ : -

12. เอกสารอ้างอิง

พิชิต พงษ์สกุล และ สุรสิทธิ์ อรรถจารุสิทธิ์. 2542. การประเมินความปนเปื้อนของธาตุโลหะหนักในดิน. วารสารดินและปุ๋ย. 21 : 71-82.

พิชิต พงษ์สกุล. 2545. ผลการดำเนินงานชุดโครงการวิจัยสารปนเปื้อนในดินน้ำและพืช, น. 127-133. ใน เอกสารประกอบการประชุมวิชาการประจำปี 2545. กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

Brown, S., Chaney, R., Hallfrisch, J., Ryan, J. A., and W. R. Berti. 2004. In situ soil treatment to reduce the phyto- and bioavailability of lead, zinc, and cadmium. *J. Environmental Quality*. 33: 522-531.

Chen, Z. S., Lee, G. J., and J. C. Lui. 2000. The effects of chemical remediation treatments on the extractability and speciation of cadmium and lead in contaminated soils. *Chemosphere*. 41: 235-242.

Imray, P. L. A. and A. Langley. 1996. “Health-based soil investigation levels.” National Environmental Health Forum Monographs No. 1. South Australian Health Commission, Adelaide.

Jordan, D., R. J. Kremer, W. A. Bergfield, K. Y. Kim, and V. N. Cacnio. 1995. Evaluation of microbial methods as potential indicators of soil quality in historical agricultural fields. *Biology and Fertility of Soils.* 19:297-302.

Kikuchi, T., Okazaki, M., Kimura, S. D., Motobayashi, T., Basansure, J., hattori, T., and T. Abe. 2008. Suppressive effects of magnesium oxide materials on cadmium uptake and

accumulation into rice grians II: Suppression of cadmium auptake and acuumulation into rice grains due to application of magnesium oxide materials. *J. Hazardous Materials*. 154: 294-299.

Kuo S, McNeal B L, 1984. Effects of pH and phosphate on cadmium sorption by a hydrous femc oxide. *Soil Sci SOC Am J*, 48: 1040-1044.

Milton, N, D. Y. Murphy, M. Braimbridge, G. Osler, D. Jasper, and L. Abbott. 2002. Using power analysis to identify soil quality indicators. *In* Symposium No. 32. XVII World Congress of Soil Science. Bangkok, Thailand. CD-Rom.

Pierzynski, G.M. and G.M. Hettiarachchi. 2002. Method for in-situ immobilization and reduction of metal bioavailability in contaminated soils, sediments, and wastes. United States Patent No. 6,383,128. Date of patent: May 7, 2002.

Pongsakul, P., B.A. Zarcinas, G. Cozens, and M.J. McLaughlin. 1999. Assessment of heavy metals pollution of soils and crops in Thailand. 2nd International Conference on Contaminants in the Soil Environment in the Australasia-Pacific Region. New Delhi, India.

Sawhney B L, 1974. Charge characteristics of soils as affected by phosphate sorption. *Soil Sci SOC Am J,* 38: 159-160.

Simmons R.W., P. Pongsakul., D. Saiyasitpanich., and S. Klinphoklap, 2003. Elevated levels of cadmium and zinc in paddy soils and elevated levels of cadmium in rice grain downstream of a zinc mineralized area in Thailand: Implications for public health. Environmental Geochemistry and Health 27: 501-511.

T. Kikuchi, M. Okazaki, S.D. Kimura, T. Moyobayashi, J. Baasansuren, T. Hattori, T. Abe, 2008. Suppressive effects of magnesium oxide materials on cadmium uptake and accumulation into rice grain. II. Suppression of cadmium uptake and accumulation into rice grain due to application of magnesium oxide materials, *J.Hazard. Mater.* 154: 294–299.

Tetsuro K., Masanori O. and Takashi M. 2009. Suppressive effect of magnesium oxide materials on cadmium accumulation in winter wheat grain cultivated in a cadmium-contaminated paddy field under annual rice–wheat rotational cultivation. Journal of Hazardous Materials 168: 89–93.

Zarcinas, B. A., G. Cozens, C. F. Ishak, P. Pongsakul, and M. J. McLaughlin. 1999. Assessment of pollution of agricultural land and crops by heavy metals and other contaminants. Termination Report of ACIAR Project No. 94.957. 235 p.

Zhang LJ., Zhang Y, Lui DH. 2009. Remedition of soil contaminated by heavy metals with different amelioration materials. *Soisl*, 41(3): 420-4.

Zhao A 2, Zhang X N, 1997. Effect of phosphate adsorption on positive and negative charges of variable charge soils. *Acta Pedologica Sinica*, 34,123-129.

13. ภาคผนวก : -